

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»

«На правах рукопису»

УДК 621.923

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ В.А.Пасічник

(підпис)

“ ” _____ 20__
р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 133 - Галузеве машинобудування
(код і назва)

на тему: Відновлення борфрез для лікувальної стоматології за допомогою
магнітно-абразивного оброблення

Виконала студентка 6 курсу, групи МІ-71мп
(шифр групи)

Тарасенко Катерина Борисівна
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник: д.т.н, професор Майборода В. С _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Механіко-машинобудівний

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ В.А.Пасічник

(підпис)

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Тарасенко Катерина Борисівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Відновлення борфрез для лікувальної стоматології за допомогою магнітно-абразивного оброблення,

науковий керівник дисертації д.т.н, професор Майборода Віктор Станіславович,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження: вживані твердосплавні стоматологічні борфрези

4. Предмет дослідження: процес відновлення працездатності вживаних борфрез

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

1. Виконати аналіз фінішних методів оброблення осьового та кінцевого різального інструменту, що забезпечують формування показників його якості.

2. Обґрунтувати доцільність застосування методу МАО стоматологічних борфрез.

3. Встановити раціональні умови відновлення працездатності стоматологічних борфрез за допомогою методу МАО.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу _____

7. Орієнтовний перелік публікацій: дві публікації, які наведено у додатку А

8. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Виконання аналізу фінішних методів оброблення осьового та кінцевого різального інструменту, що забезпечують формування показників його якості		
2	Обґрунтування доцільності застосування методу МАО стоматологічних борфрез.		
3	Встановлення раціональних умов відновлення працездатності стоматологічних борфрез за допомогою методу МАО.		

Студент _____
(підпис)

Тарасенко К.Б
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації _____
(підпис)

д.т.н, професор Майборода В.С
(ініціали, прізвище)

АНОТАЦІЯ

Тарасенко К.Б. Відновлення борфрез для лікувальної стоматології за допомогою магнітно-абразивного оброблення

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». – Київ, 2018.

Компанії, що проектують та виготовляють стоматологічні твердосплавні борфрези, не займаються його відновленням та заточуванням. Строк служби борфрез не великий, та зазвичай зношений інструмент не відновлюють, а замінять одразу на інший. В даній роботі проаналізовано методи фінішного оброблення інструмента, серед яких метод магнітно-абразивного оброблення (МАО) має найкращий сукупний вплив на параметри якості твердосплавного різального інструменту. Виконані експериментальні дослідження показали, що МАО доцільно використовувати для відновлення стоматологічних твердосплавних борфрез. Спроектовано спеціальне пристосування, яке використовувалось для вимірювання розмірів різальних кромок борфрез. За допомогою МАО досягли максимального відновлення працездатності інструмента шляхом очищення та отримали можливість загострення та розполірування мікровідколів робочих зубів стоматологічних борфрез, що дозволить продовжити термін експлуатації такого інструменту.

SUMMARY

Tarasenko K.B. Recovery of burrs for dental therapy by means of magneto-abrasive machining

Thesis for a master's degree in specialty 133 - Industrial Machinery National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". - Kiev, 2018.

Companies that design and manufacture dental carbide burrs do not repair and grind it. The service life of the burr cutter is not large, and usually the worn-out tool is not restored, but replaced immediately by another one. This paper analyzes the methods of finishing the tool, among which the method of magnetic abrasive machining (MAO) has the best cumulative effect on the quality parameters of carbide tools. Experimental studies have been performed that suggest that MAO should be used to restore dental carbide burrs. Designed a special device that was used to measure the size of the cutting edges burrs. With the help of MAO, they have reached the maximum recovery of the tool's performance by cleaning and were able to aggravate and reprocess the working teeth of the dental burrs, which will prolong the life of such a tool.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень та скорочень	8
Вступ.....	9
1. АНАЛІЗ ФІНІШНИХ МЕТОДІВ ОБРОБЛЕННЯ ОСЬОВОГО РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ТА ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МАГНІТНО-АБРАЗИВНУ ОБРОБКУ (МАО)	12
1.1 Аналіз фінішних методів оброблення осьового різального інструменту ..	12
1.2. Аналіз схем магнітно-абразивного оброблення виробів в залежності від їх конструкції і призначення	25
2. МАТЕРІАЛИ, ПРИСТОСУВАННЯ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	47
2.1 Матеріали досліджень	47
2.2. Конструкція та призначення пристосування для оцінки округлення РК..	50
2.3. Дослідний стенд для МАО з кільцевою робочою зоною.....	53
2.4 Магнітно-абразивні матеріали, що використовували при МАО.....	56
2.5. Умови дослідження параметра k , який характеризує зміни радіусів різальних кромки борфрез.....	60
2.6. Методика вимірювання параметра k , який характеризує зміну радіусів округлення РК борфрез.	61
3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МАО БОРФРЕЗ	62
3.1 Вплив МАО на округлення різальних кромки твердосплавних стоматологічних борфрез	63
3.2. Висновки експериментальних досліджень	74
4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	76
4.1 Опис ідеї-проекту	76
4.2 Основні вигоди, що може отримати користувач товару.....	76
4.3 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї.....	77

4.4 Технологічний аудит ідеї проекту.....	78
4.5 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	78
4.6 Аналіз ринкового середовища	80
4.7 SWOT-аналіз.....	82
4.8 Розроблення ринкової стратегії проекту	84
4.9 Стратегія конкурентної поведінки	85
4.10 Розроблення маркетингової стратегії проекту.....	86
4.11 Визначення цінових меж товару.....	86
4.12 Визначення оптимальної системи збуту.....	87
4.13 Висновки:	87
Загальні висновки.....	89
Список літератури:	91

Перелік умовних позначень таскорочень

MAI	- магнітно-абразивний інструмент;
MAM	- магнітно-абразивні матеріали;
MAO	- магнітно-абразивне оброблення;
MAП	- магнітно-абразивний порошок;
MOTC	- мастильно-охолоджуюче технологічне середовище;
EMI	- електромагнітний індуктор;
AI	- абразивний інструмент;
PI	- різальний інструмент;
PK	- різальна кромка;
MI	- магнітний індуктор;
Ra	- параметр шорсткості поверхні, мкм;
p	- кут базування оброблюваної деталі відносно площини робочої зони, градуси;
B	- магнітна індукція, Тл.

Вступ

Актуальністю автоматизованого виробництва сучасності є підвищення ефективності технологічного процесу, яка залежить від експлуатаційних властивостей різального інструменту (РІ), які визначаються його якістю. На якість, стійкість та працездатність твердосплавного інструменту впливають: геометрія різальної частини, радіус округлення різальних кромek (РК), шорсткість та фізико-механічні характеристики робочих поверхонь. Підвищення вище вказаних характеристик можливе на фінішних етапах його виготовлення.

Для підвищення якості та вирішення недоліків РІ доцільно використовувати магнітно-абразивне оброблення (МАО). Даний метод надає можливість комплексно впливати на стан поверхневого шару, змінюючи його фізико-механічні властивості та мікрогеометрію як робочих поверхонь РІ, так і РК. При МАО РІ здійснюється видалення задирок, полірування робочих поверхонь та РК, зміцнення поверхневого шару, формування в приповерхневому шарі залишкових стискаючих напружень, підвищення корозійної стійкості, контактної втомної довговічності.

Проте МАО стоматологічних борфрез порошковими матеріалами різних складів з різноманітною формою частинок та вплив процесу на якісні і стійкісні характеристики стоматологічного інструменту залишаються недостатньо дослідженими. Аналіз результатів досліджень МАО твердосплавних стоматологічних кулястих за формою борфрез, дасть можливість зробити висновки щодо забезпечення можливості загострення та розполірування мікровідколів робочих зубів та максимально відновити працездатність стоматологічних борфрез.

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація на тему «Відновлення борфрез для лікувальної стоматології за допомогою магнітно-абразивного оброблення» містить 93 сторінок пояснювальної записки, рисунків - 38, таблиць - 25, використаних джерел - 28, ілюстрації, що включає презентації графічної частини.

Актуальність теми.

Сучасне людство все більше прямує до економії ресурсів, саме медицина являється найдорожчою галуззю обслуговування населення. В усьому світі спеціалісти даної сфери намагаються переходити на новітні технології виготовлення та оброблення. Для більш довшого використання стоматологічних борфрез потрібно слідкувати за його зовнішнім станом та геометричними параметрами. Зношений інструмент потрібно або замінити або купувати новий. Саме в даній роботі вирішили проблеми, за допомогою метода МАО з відновленням працездатності та загострення різальних кромek стоматологічного інструмента, за для продовження строку служби інструмента та в цілях економії.

Мета дослідження.

Забезпечити можливість відновлення працездатності стоматологічних твердосплавних борфрез шляхом їх очищення, загострення та розполірування мікровідколів на робочих різальних кромках за допомогою МАО в умовах великих магнітних зон кільцевого типу.

Задачі дослідження:

1. Виконати аналіз фінішних методів оброблення осьового та кінцевого різального інструменту, що забезпечують формування показників його якості.
2. Обґрунтувати доцільність застосування методу МАО стоматологічних борфрез.

3. Встановити раціональні умови відновлення працездатності стоматологічних борфрез за допомогою методу МАО.

Об’єкт дослідження – вживані твёрдосплавні стоматологічні борфрези.

Предмет дослідження – процес відновлення працездатності вживаних борфрез.

Наукова новизна отриманих результатів.

В перше досліджено особливості магнітно-абразивного оброблення борфрез, визначено раціональні умови їх базування в робочих зонах верстатів типу кільцева ванна. Запропоновано ймовірний механізм взаємодії магнітно-абразивного інструменту з оброблюваними деталями.

Практичне значення отриманих результатів.

Визначені раціональні умови МАО вживаних стоматологічних борфрез. Показано, що найбільш впливовим фактором при відновленні працездатності є час оброблення, який визначається ступенем зношення борфрез та кут базування в робочих зонах.

Публікації. По темі магістерської дисертації опубліковано дві тези, які наведені у додатку А.

1. АНАЛІЗ ФІНІШНИХ МЕТОДІВ ОБРОБЛЕННЯ ОСЬОВОГО РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ ТА ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО МАГНІТНО-АБРАЗИВНУ ОБРОБКУ (МАО)

1.1 Аналіз фінішних методів оброблення осьового різального інструменту

В машинобудуванні відомо ряд різновидів фінішного оброблення різального інструменту (РІ), які спрямовані на формування тих чи інших показників якості.

Напружений стан приповерхневого шару, твердість, шорсткість робочих поверхонь та їх макрогеометрія, мікрогеометрія безпосередньо різальних кромок (РК), відсутність на них мікроконцентраторів напружень у вигляді викришувань та сколів саме ці характеристики, впливають на працездатність РІ, а особливо виготовленого з твердого сплаву. Перераховані параметри, зазвичай, формуються на фінішних стадіях виготовлення РІ. При цьому відбувається утворення необхідного напруженого стану приповерхневого та поверхневого шару робочих поверхонь за рахунок поверхневого мікропластичного деформування, що супроводжується збільшенням густини дислокацій та ущільненням структури, підвищується твердість, знижується шорсткість, відбувається формування радіусів округлення РК, зникають мікроконцентратори напружень [1].

Шліфування. Шліфування - процес обробки заготовок різанням абразивними інструментом (колами, брусками, абразивними інструментом на гнучкій основі). В колах абразивні зерна розташовані хаотично і утримуються матеріалом зв'язки. При обертанні кола в зоні його контакту з оброблюваною поверхнею частина зерен починає зрізувати матеріал заготовки. Швидкість різання при шліфуванні може складати 30-100 м/с. Шліфуванням можна проводити чистову обробку заготовок з різних матеріалів, що мають різну твердість [2]. Найчастіше завершальним етапом виготовлення РІ є саме такий вид фінішної обробки. При шліфуванні в тонкому поверхневому шарі при

силовій та термічній взаємодії (особливо локальній) формуються стискаючі напруження, величина яких залежить від умов оброблення. Метод підвищення працездатності РІ, при таких умовах отримав широкого розповсюдження. Дані зміни формують зміцнення поверхневого шару, збільшення втомної міцності, підвищення твердість поверхневого шару, що впливає на збільшення періоду стійкості РІ. Але при не дотриманні режимів оброблення відбувається протилежний ефект та в поверхневому шарі формуються несприятливі розтягуючі напруження, внаслідок чого на поверхні можуть виникати мікротріщини, знижуватися межа міцності при згині.

Шліфування також використовується для формування фасок на різальних кромках інструменту, вони можуть бути як одинарні та подвійні, так і множинні з різноманітними симетричними та асиметричними формами, що забезпечує їх стійкість та виключає утворення сколів та зазубрин при шліфуванні. Але застосування шліфування кромek значно обмежене просторовою формою РІ та не може бути використане для складних просторових РК та дрібнорозмірного інструменту, такого як стоматологічні борфрези.

Віброабразивне оброблення. Одним з найбільш продуктивних методів попередньої та фінішної обробки малогабаритних інструментів є віброабразивна обробка. Під дією абразивної маси наоброблювані деталі у віброустановці починає здійснюватися процес зняття заусениць, очищення, а також чистове шліфування та полірування інструментів. Таким методом можна обробляти інструменти малих розмірів без небезпеки їх деформації. Якість віброабразивної обробки визначається властивостями наповнювача, його фізичними характеристиками, режимами та тривалістю обробки. Відповідний напружений стан поверхневого шару та мікрогеометрію поверхонь можна отримати при використанні віброабразивного оброблення (рис. 1.1).

При віброабразивному методі оброблення, поверхневий шар піддається пластичному деформуванню за рахунок ударів частинок наповнювача (як правило, використовують бій абразивних кругів або сталі кульки)

завантаженого разом з оброблюваними деталями в вібруючий контейнер, при цьому утворюються стискаючі напруження, які безпосередньо впливають на збільшення міцності. При такому методі обробки відбувається зниження шорсткості поверхонь, округлення РК, зникає мікрорельєф від попередніх операцій шліфування [3].

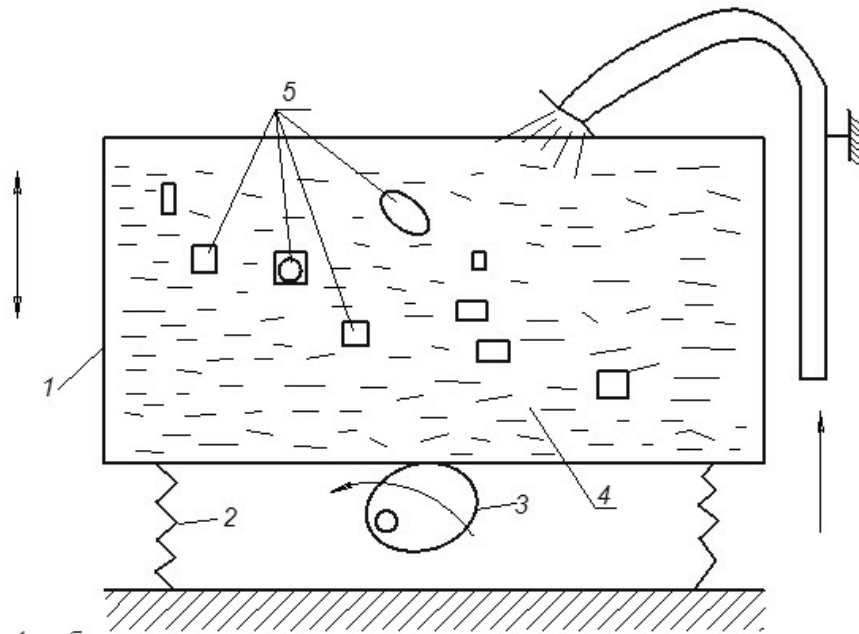


Рис. 1.1. Схема віброабразивного оброблення: 1 – робоча камера; 2 – пружина; 3 – незбалансований вал; 4 – робоче середовище; 5 – оброблювані деталі.

Недоліком цього методу є неможливість контролювати форму округлення РК, утворення на різальних кромках сколів та виривів за рахунок численних ударів вібротіл по оброблюваних поверхнях та, особливо, РК, що значно знижує робочі властивості інструменту.

Об'ємне центробіжно - ротаційне оброблення. Даний спосіб оброблення полягає в тому, що гранульоване оброблюване середовище й деталі приводиться в обертальний рух навколо вертикальної осі таким чином, що утворюють форму тора, в якому частинки рухаються по спіральних траєкторіях [4]. Такий гвинтовий потік забезпечується конструкцією робочої камери верстата, який складається з нерухомої обичайки і приєднаного до неї ротора, що в більшості випадків має форму тарілки (рис. 1.2).

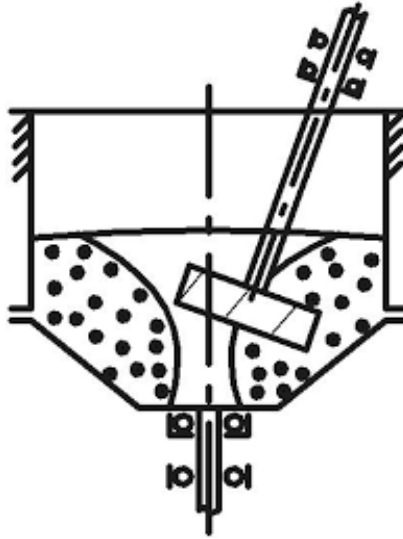


Рис. 1.2. Схема центробіжно-ротаційного оброблення

Переваги – висока інтенсивність процесу, одночасне оброблення партії деталей невеликих розмірів. Недоліки – підвищене зношення абразивного середовища, можливість деформації деталей малої жорсткості. Даний метод не дозволяє ефективно оброблювати великі деталі (> 100 г), відбувається розшарування – деталі, яка знаходиться внизу, абразивна маса - вгорі.

Струменево-абразивне оброблення. Для фінішного оброблення РІ використовують струменево-абразивне оброблення (рис. 1.3) [5], яке застосовується для очищення від окалини, доведення деталей складної просторової форми, для зміцнення поверхонь та для підготовки поверхонь перед нанесенням зносостійких покриттів.

Такий спосіб оброблення ще можна вважати, як процес полірування заготовок за допомогою суміші рідини і абразивних зерен, що подається на заготовку з сопла зі швидкістю 50 м/с і більше. Використовується цей спосіб обробки для отримання шорсткості поверхонь рівних $Ra\ 0,16 - 0,125$ мкм в місцях, важкодоступних для інших способів механічної обробки. Струменево-абразивній обробці піддаються і чорнові заготовки для зняття окалини, очищення виливків. Для отримання низької шорсткості поверхні потрібна попередня механічна обробка не нижче $Ra\ 2,5$ мкм.

Даний спосіб підвищує міцність та працездатність РІ. Суть процесу струменево-абразивного оброблення [5] полягає в тому, що на оброблювану

поверхню або РК діє зі значною швидкістю струмінь абразивних зерен, в яких відбувається зміцнення поверхні та зміна її мікрогеометрії. Оброблення виконується завдяки наданню абразивним зернам великої кінетичної енергії, що забезпечує як мікропластичне деформування, так і видалення мікростружки. Кінетична енергія зернам надається за рахунок несучого середовища, яким може бути рідина або повітря. Також частинкам (дріб) може надаватись енергія за рахунок відцентрових сил, в такому випадку оброблення називається дрібометне. В якості оброблюваного матеріалу може використовуватись металевий, скляний, керамічний та льодяний дріб.

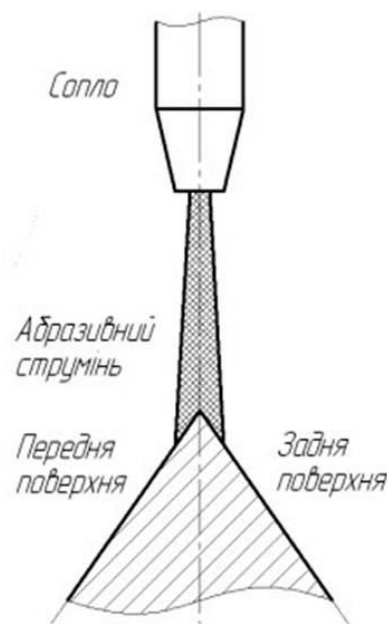


Рис. 1.3. Схема струменево-абразивного оброблення РК інструменту

Як і при попередніх схемах, в поверхневих шарах РІ утворюються залишкові стискаючі напруження, відбувається наклепування, що сприяє зниженню ймовірності зародження тріщин втоми при експлуатації. Процес малоефективний при обробленні деталей складної просторової форми через направлену дію потоку на поверхні деталей. Для запобігання даному недоліку необхідно використовувати декілька різноспрямованих струменів або надавати йому складну траєкторію руху, що значно ускладнює конструкцію устаткування. Складним є контролювання зміни форми РК, також даний спосіб

оброблення поверхонь може приводити до погіршення їх шорсткості, що негативно впливає на якість виробів. У випадках застосування запропонованого струменеві-абразивного оброблення в якості підготовчої операції перед нанесенням зносостійких покриттів має місце зниження якості покриттів і самих виробів в результаті утворення на поверхнях РІ локальних концентраторів напружень [6].

Турбоабразивне оброблення. Такий метод оброблення є фінішним процесом обробки. Цей спосіб призначений для механізації і автоматизації технологічних процесів - полірування заготовок складної форми, зняття задирок і округлення гострих кромek, що утворюються після різних операцій обробки різанням, підготовки заготовок під покриття, видалення окалини, нагару і т.д. Киплячий шар абразивних зерен утворюється таким способом (рис.1.4):

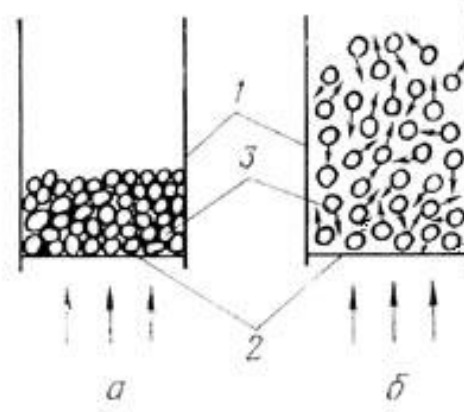


Рис. 1.4. Схема утворення киплячого шару абразивних зерен при турбоабразивному обробленні

В ємність циліндричної або прямокутної форми, дном якої служить спеціальна газорозподільна решітка, насипають шар абразивних зерен, потім через решітку подають знизу вгору потік повітря. При малій швидкості повітряного потоку шар залишається нерухомим, поступове збільшення швидкості призводить до урівноваження твердих частинок силою гідродинамічного тиску, при цьому шар розширюється, стає в'язким і текучим, тобто набуває властивостей рідини. Цей спосіб заснований на використанні

техніки псевдозрідження сипучих матеріалів та полягає в створенні абразивного киплячого (псевдозрідженого) шару, в який занурюють оброблювану заготовку, задаючи в залежності від її форми різні види руху на обертальний, планетарний та інший. Турбоабразивний спосіб оброблення заснований на створенні абразивного киплячого (псевдозрідженого) шару, в якому поміщають оброблювану деталь, задаючи в залежності від її форми різні види руху (рис. 1.5) [4].

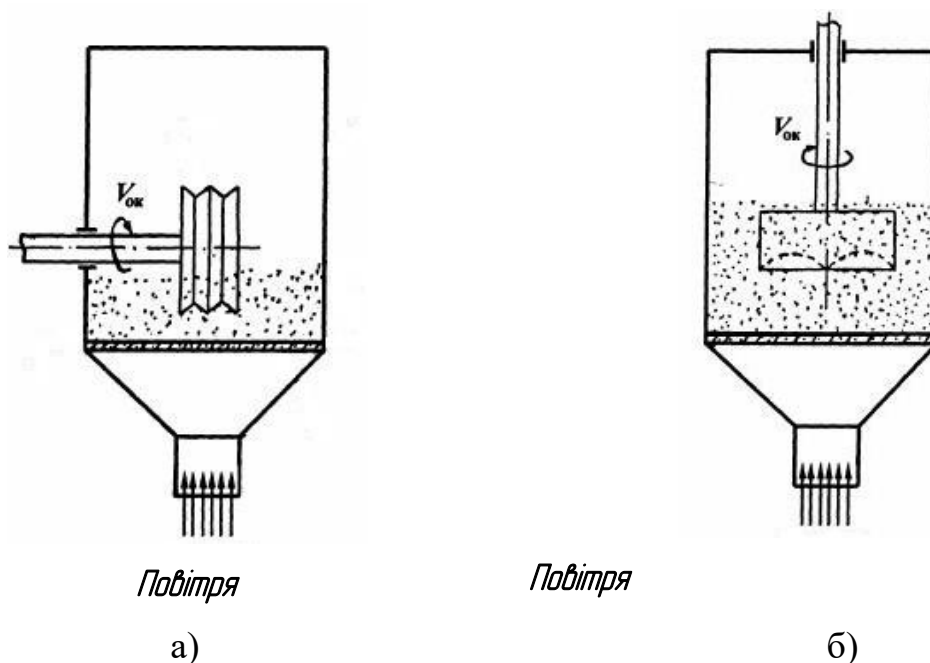


Рис. 1.5. Схема турбоабразивного оброблення з горизонтальною (а) та вертикальною (б) віссю обертання деталі

Після турбоабразивного оброблення поверхня має кратероподібний мікрорельєф, який складається з великої кількості коротких подряпин, що створюють матову поверхню. Точність розмірів та форми деталі можна спрямовано підвищити.

Оброблення абразивними щітками. Впровадження високошвидкісних автоматизованих способів обробки в сучасному виробництві викликає потребу в покращенні процесів фінішної обробки, включаючи видалення гострих кромek та зняття задирок. Один з методів, здатних ефективно вирішити ці проблеми - оброблення складних поверхонь щітками з нейлонових волокон або тваринного

походження наповнених абразивом. Абразивні щітки застосовують на малих швидкостях, щоб вони мали ударяти та обдирати оброблювані поверхні.

Такий спосіб оброблення використовується для зняття задирок, окалини, видалення матеріалу, підвищення міцності, зносостійкості та корозійної стійкості поверхонь, для видалення мікрокапельної структури після нанесення зносостійких покриттів, а також для оброблення РК інструменту (рис. 1.6) [7, 8]. В якості оброблюваного інструменту використовують щітки у формі дисків, коліс або чашок [9]. Абразивні щітки складаються з полімерних ниток, які можуть містити в собі абразивний матеріал. Під час оброблення ниті взаємодіють з лезом інструменту, чим досягається зняття матеріалу та утворення радіусу округлення РК. В результаті ударів волокон по оброблюваних елементах в поверхневому шарі утворюються стискаючі напруження. На ефективність процесу впливає швидкість оброблення, зернистість абразивного матеріалу, позиціонування щітки відносно пластини, глибина занурення оброблюваної поверхні в щітку та загальний час оброблення.

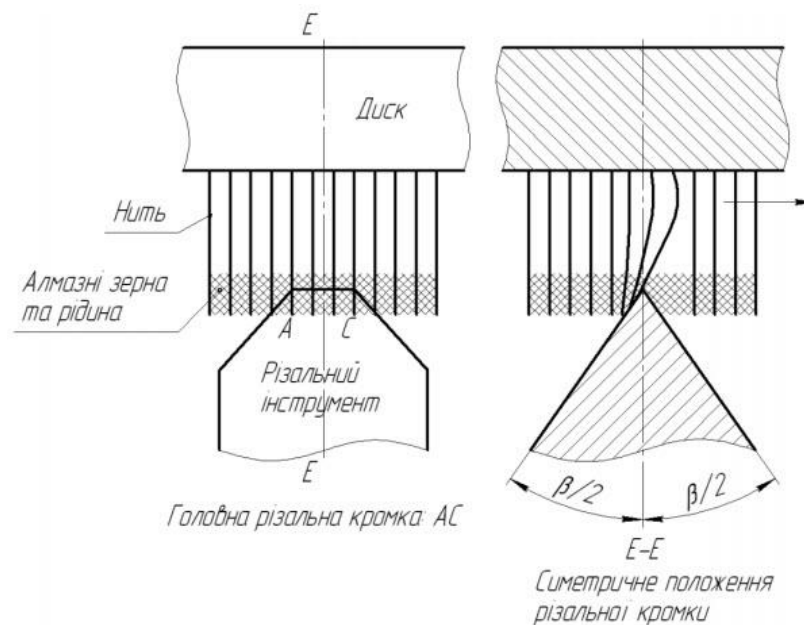


Рис. 1.6. Схема оброблення РК інструменту абразивними щітками

Значний вплив на кінцевий результат має стан ниток, оскільки при їх зношенні зменшується величина видалення матеріалу. Щоб виправити даний

недолік збільшують час оброблення, що в свою чергу призводить до підвищення температури [9, 8]. Оброблення абразивними щітками є високопродуктивним та ефективним способом обробки різального інструменту виготовленого з різних матеріалів, але тим не менше він має ряд недоліків. В процесі експлуатації зношуються волокна, що призводить до погіршення властивостей абразивного інструменту та, відповідно, до суттєвого збільшення різниці між отриманими значеннями величин радіусів округлення РК на різних стадіях роботи абразивної щітки. Переваги способу оброблення абразивними щітками:

- покращення чистоти поверхні: зменшення шорсткості без видалення основного матеріалу та зміни розмірів оброблюваної деталі;
- обмежена різальна здатність: метал знімається тільки по кромці з утворенням маленького радіуса за короткий час;
- не пошкоджує поверхневий шар деталі;
- забезпечує постійні результати.

Недоліками щіток є: обмежена різальна робота, не можливість видалення крупних задирок на деталях з високоміцних матеріалів, та невисока температура в зоні обробки, з її збільшенням відбувається плавлення полімерного матеріалу та налипання його на поверхню деталі, отже, необхідна додаткова обробка по зняттю цього налиплого шару. Також до недоліків можна віднести нерівномірність оброблення внаслідок складності попадання окремих волокон в напіввідкриті поверхні з малими розмірами, та в результаті можливе утворення тіньових зон в яких процес або не проходить взагалі, або відбувається неефективно [10]. Крім того, може відбуватись засалювання щітки, що знижує ефективність процесу.

Оброблення у вільному абразиві. Даний вид оброблення відомий, як тягове шліфування – один із сучасних методів шліфування РІ, який здійснюється у вільному абразиві геометрично невизначеним шліфувальним інструментом, ущільненим інерційними силами [11].

Оброблювані деталі заглиблюються в контейнер, який містить вільні абразивні зерна, якими можуть бути керамічні матеріали, карбід силіцію, корунд, мелена шкаралупа волоського горіху та ін. В процесі деталі виконують планетарний рух в абразивному середовищі для забезпечення рівномірного оброблення та полірування поверхонь. Тягове шліфування може відбуватися в умовах сухого та вологого оброблення. Під час процесу деталі не контактують між собою на відміну від віброабразивного методу. На рис. 1.7 представлений сучасний верстат тягового шліфування фірми OTEC PräzisionsfinishGmbH.



Рис. 1.7. Верстат тягового шліфування РІ

Оброблення залежить від властивостей оброблюваного матеріалу та матеріалу середовища, від швидкості та напрямку відносного переміщення деталей в робочій зоні, від глибини занурення оброблюваного інструменту в абразивне середовище, а також від загального часу оброблення [12]. Даний метод використовується для округлення РК на складнопрофільному інструменті такому як свердла, кінцеві та черв'ячні фрези та зміцнення поверхневих шарів робочих частин інструменту [13].

В цьому методі є ряд недоліків. Під час оброблення різні частини довгомірних деталей знаходяться на різній глибині в робочому середовищі, що супроводжується різними величинами сил, які діють на ці оброблювані елементи, що спричиняє нерівномірне оброблення по довжині оброблюваних деталей.

Методи нанесення зносостійких покриттів. Широкого розповсюдження для підвищення працездатності РІ набули методи нанесення зносостійких покриттів. Для підвищення ефективності експлуатації робочих поверхонь [14], на них наносять різноманітні матеріали та сплави. В більшості випадків працездатність РІ залежить саме від властивостей поверхневих шарів, які пошкоджуються в процесі експлуатації на багато раніше ніж основа [15]. Використання покриттів сприяє збільшенню терміну експлуатації РІ [16] за рахунок зміцнення поверхневого шару, збільшення твердості поверхонь, зниження температури безпосередньо в зоні різання. Розроблений цілий ряд способів та методів нанесення тонких зносостійких покриттів на робочі елементи РІ. Серед них найпоширенішими є: хіміко-термічне оброблення, іонне осадження покриттів, фізичне осадження покриттів (PVD), хімічне осадження покриттів (CVD).

Недоліками методу є формування небезпечної перехідної зони між покриттям та основою, в якій утворюються позитивні напруження, що сприяють сколюванню покриттів в процесі їх експлуатації [17]. Також відзначається значне погіршення шорсткості поверхонь та значна тривалість та собівартість процесу.

Розглянуті методи підвищення якості РІ забезпечують лише часткове покращення окремих параметрів, тому перспективно використовувати метод магнітно-абразивного оброблення, який дозволяє комплексно покращити як мікрогеометрію поверхонь та різальних кромок, так і фізико-механічні властивостей поверхневих шарів.

Магнітно-абразивне оброблення (МАО). Даний метод обробки полягає у видаленні припуску переважно абразивним способом зі створенням магнітного

поля безпосередньо в зоні різання. Залежно від схеми МАО роль магнітного поля полягає: у формуванні з магнітно-абразивного порошку (МАП) магнітно-абразивного інструменту (МАІ) та в утриманні його в зоні різання; в створенні сили різання. В якості МАІ використовують МАП, магнітно - реологічні рідини з абразивним наповнювачем. На практиці набули поширення види МАО із застосуванням порошку, розміщеного на активній поверхні магнітного індуктора (МІ), в робочому зазорі (просторі між полюсом МІ та оброблюваної поверхнею) або робочій зоні (просторі між полюсами МІ). Даний метод фінішного оброблення доцільно використовувати на фінішних етапах виготовлення різноманітних виробів [18, 19, 20, 21, 22]. Утворений з МАП інструмент дає можливість проводити обробку поверхонь складної форми без фасонних полюсів МІ за допомогою простої кінематики процесів. Під час оброблення виконуються наступні робочі рухи: головний рух, що визначає швидкість різання V , рух подачі S_n , що використовують для розподілу обробки по всій поверхні заготовки або для забезпечення рівномірного знімання на всіх її ділянках; рух осциляції, додатковий рух. Схеми МАО показані на рисунку 1.8.

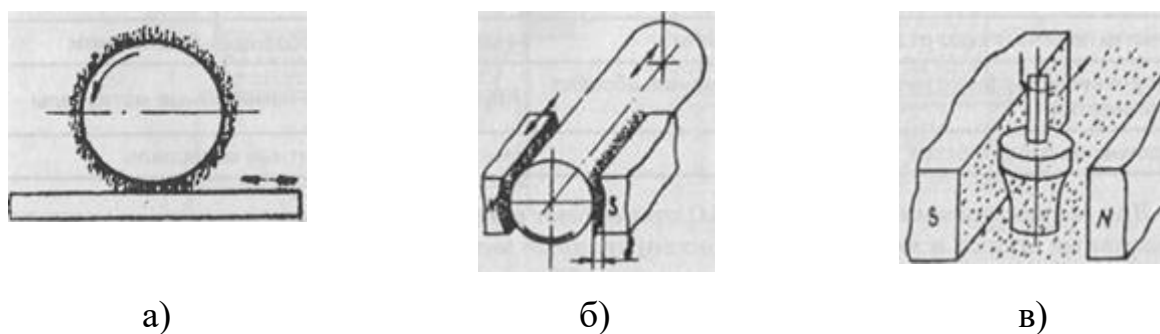


Рис. 1.8. Схеми МАО з розміщенням магнітно-абразивного порошку: а) - на активній поверхні; б) - в робочих зазорах; в) - в робочій зоні

Незалежно від характеру магнітного поля, створеного МІ в робочій зоні, це поле по відношенню до кожного елементу обсягу рухомої заготовки носить змінний характер. Вплив змінного магнітного поля на матеріал покращує експлуатаційні властивості: зносостійкість, корозійну стійкість, контактну

довговічність. МАО піддають феромагнітні та немагнітні матеріали з широким діапазоном фізико-механічних властивостей. Ефективність застосування МАО як фінішної обробки оцінюється параметрами шорсткості, фізико-механічними характеристиками та точністю оброблених деталей.

Для різних видів МАО при початковому значенні $Ra = 0,3-0,6$ мкм досягається значення $Ra = 0,02-0,08$ мкм. Отримання менших значень Ra вимагає обробки за кілька переходів зі зміною режиму, виду та зернистості магнітно-абразивного порошку. В процесі оброблення не відбувається шаржування оброблюваних поверхонь абразивними зернами. В результаті механічних та магнітних впливів поверхневий шар заготовки після МАО відрізняється від початкового зміненою структурою, фазовим та хімічним складом, будовою кристалічної решітки. Ці зміни сприятливо позначаються на експлуатаційних властивостях деталей. Після МАО підвищується твердість поверхні, в тонкому (до 50 -100 мкм) поверхневому шарі, утворюються залишкові напруження стискання. Ці поверхні відрізняються підвищеною зносостійкістю, корозійною стійкістю, контактною довговічністю, а деталь та її матеріал – підвищеною циклічною довговічністю та ударною в'язкістю. Даний метод відноситься до групи полірувально - зміцнювальних методів оброблення. Метод МАО дозволяє комплексно впливати на стан поверхневого шару, змінюючи його фізико-механічні властивості та мікрогеометрію робочих поверхонь РІ, зокрема РК. При МАО РІ відбувається видалення задирок, полірування робочих поверхонь та РК, зміцнення поверхневого шару, формування в приповерхневому шарі залишкових стискаючих напружень, підвищення корозійної стійкості, контактної втомної довговічності. Дані зміни відбуваються за рахунок мікрорізання та пластичного деформування. При МАО локальні температури не перевищують 200°C , відбувається активне відведення мікростружки з зони різання, тим самим запобігаючи засалюванню МАІ, відбувається "м'який" вплив на оброблювані поверхні, активно перемішуються абразивні зерна, забезпечуючи постійну стабільну різальну здатність. Також до переваг МАО віднесемо можливість керованого регулювання жорсткості МАІ в

широких межах, що забезпечує різне зусилля його притиснення до оброблюваних поверхонь.

1.2. Аналіз схем магнітно-абразивного оброблення виробів в залежності від їх конструкції і призначення

В сучасному машинобудуванні існує велика кількість конструктивних та технологічних схем, та методів для реалізації МАО.

Проаналізуємо існуючі схеми МАО, які запропонував Барон Ю.М. [18] за трьома ознаками:

1. За функціональним призначенням магнітного поля в кожному конкретному випадку;

2. За технологічною ознакою – по формі оброблюваних поверхонь;

3. За типом використовуваного магнітного індуктора.

1. За першою ознакою усі схеми можна поділити на п'ять груп:

- магнітне поле формує з порошкової феромагнітної абразивної маси різальний інструмент з керованою жорсткістю та створює сили різання;

- магнітне поле формує з порошкової феромагнітної абразивної маси різальний інструмент з керованою жорсткістю, створює сили різання та надає різальному інструменту рух різання;

- магнітне поле створює сили та рух різання несформованою масою феромагнітного абразивного порошку;

- магнітне поле створює необхідні для різання рухи безпосередньо заготовці або абразивному інструменту;

- магнітне поле в зоні оброблення інтенсифікує або поліпшує якісні характеристики існуючих абразивних способів оброблення.

Загальним для всіх п'яти груп першої класифікації є присутність змінного магнітного поля в зоні оброблення.

2. Згідно другої ознаки класифікації:

- схема полірування зовнішніх поверхонь обертання;

- схема полірування внутрішніх поверхонь обертання;
- схема полірування площин та лінійчатих фасонних поверхонь;
- схема полірування тривимірних фасонних поверхонь.

Оскільки, існуючі схеми дозволяють оброблення декількох форм поверхонь, деякі схеми можуть мати декілька застосувань.

3. За типом магнітного поля, третя ознака, поділяють на:

- схема з електромагнітним індуктор постійного струму;
- схема з електромагнітним індуктор змінного струму;
- схема з електромагнітним індуктор трьохфазного струму;
- схема з індуктором на постійних магнітах.

При обробленні деталей типу тіл обертання найчастіше використовують схеми, як розраховувати жорстке кріплення заготовки в центрах, між роликami або консольно відносно полюсів постійних магнітів так, щоб між полюсами та оброблюваною поверхнею залишалися зазори, які заповнюються магнітно-абразивним порошком. При цьому полюси магнітної системи, в залежності від габаритів деталі, можуть розташовуватися або з одного боку деталі, або з обох (рисунок 1.9). Магнітне поле, створюване електромагнітами постійного струму чи постійними магнітами, застосовується для утримання магнітно-абразивного порошку у магнітному зазорі в робочому стані, а оброблювана деталь виконує обертальний та осцилюючий рухи, які можуть бути сполучені з подовжньою або поперечною подачею.

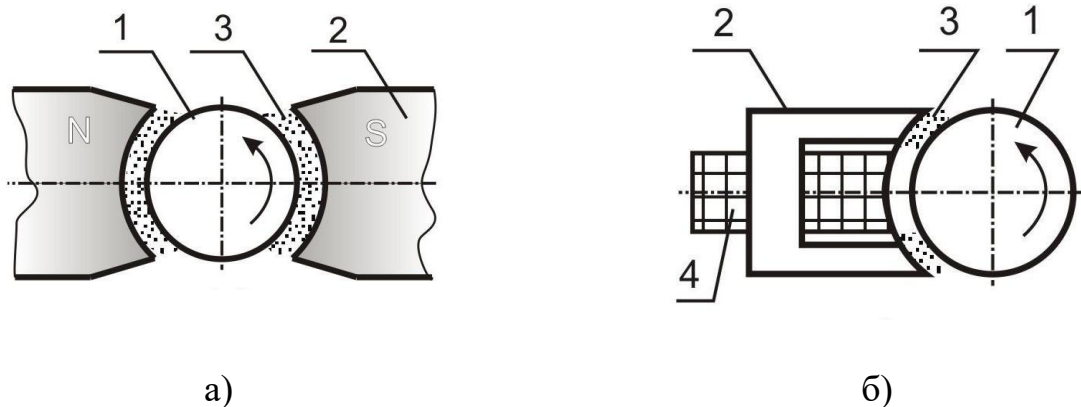


Рис. 1.9. Схема МАО циліндричних деталей: а) з розташуванням електромагнітних індукторів (ЕМІ) з двох сторін; б) з розташуванням ЕМІ з однієї сторони оброблюваної деталі: 1 – заготовка, 2 – полюс, 3 – абразивний порошок, 4 – магнітна котушка

Розглянемо схеми МАО, які набули практичне застосування (рисунок 1.10.). Доводка лез різця (рисунок 1.10а) – різець рухається синхронно з ввімкненням та вимкненням ЕМІ. При цьому періодично змінюється жорсткість порошку та здійснюється полірування різця без притуплення його різальних кромek. Полірування зовнішньої різьби (рисунок 1.10б) – оброблення здійснюється при русі порошку від переміщені полюсів та обертанні оброблюваної деталі. Оброблення листового матеріалу (рисунок 1.10в) – оброблення здійснюється при обертанні електромагніту та протягуванні між ним заготовки. Полірування отворів втулок (рисунок 1.10г) – абразивний інструмент формується в робочому зазорі між отвором заготовки та внутрішнім полюсом. Оброблення здійснюється при обертанні заготовки та осциляції полюсу. Полірування отворів тонкостінних деталей (рисунок 1.10д) – порошок.

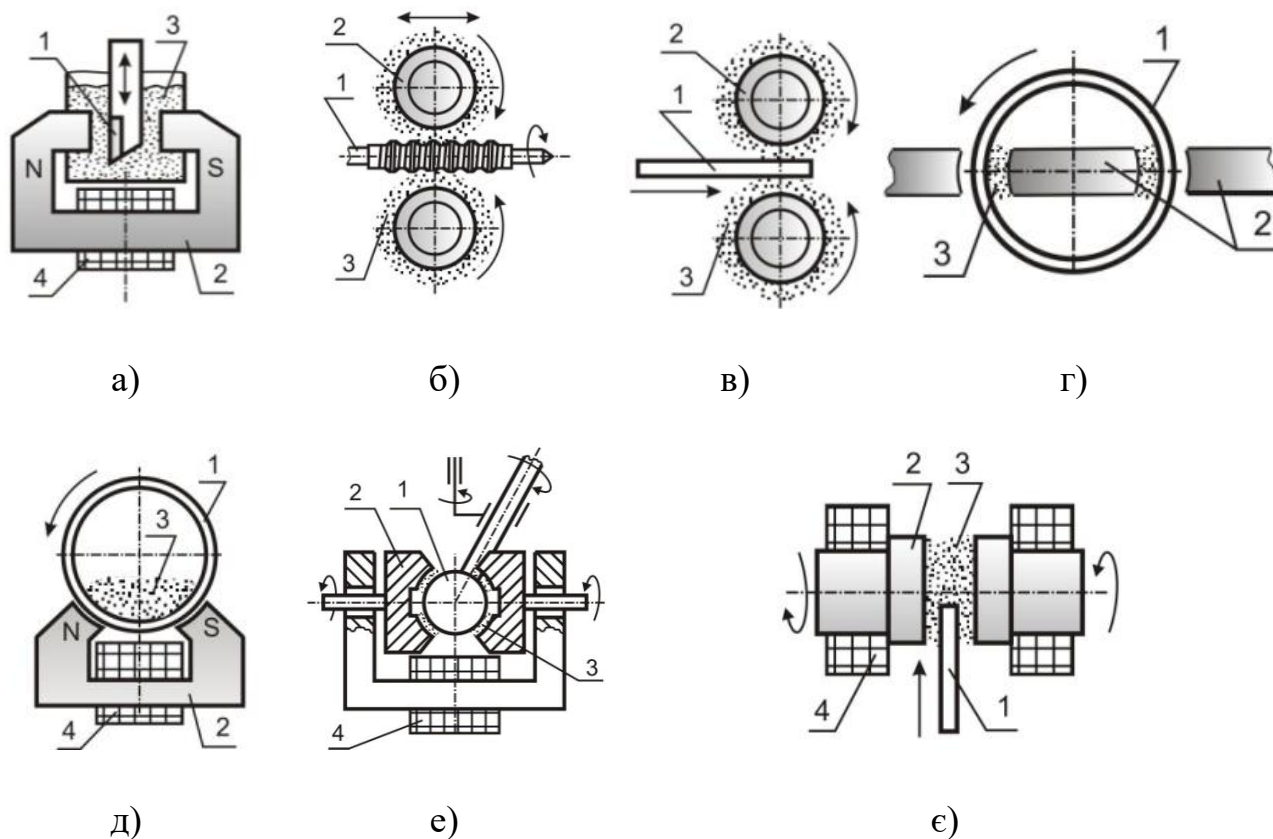


Рис. 1.10. Схеми для МАО а) різальних кромок; б) зовнішньої різьби; в) листового матеріалу; г) внутрішніх поверхонь; д) внутрішніх поверхонь тонкостінних деталей; е) зовнішніх сферичних поверхонь; є) граней деталей: 1- деталь, що обробляється; 2-електромагнітний індуктор змінного струму; 3- камера з порошком; 4-магнітна котушка.

Магнітна котушка розташовується в отворі, притиснена магнітними силами до оброблюваної поверхні та утримується проти полюсів ЕМІ. При обертанні деталі оброблюється отвір. Полірування зовнішніх сферичних поверхонь (рисунок 1.10е) – абразивний інструмент сформований в робочих зазорах та обертається разом з полюсами ЕМІ. Заготовки одночасно обертаються відносно власної та перехресної осей. Полірування різальної частини інструмента (рисунок 1.10є) – оброблення здійснюється при обертанні полюсів та переміщенні інструменту.

Аналогічна класифікація схем та пристроїв МАО, наведена в [22], що розділяє схеми обробки за формою оброблюваної деталі та відносними рухами деталі та порошку.

Автор [23] виділяє два типи способів та пристроїв для МАО за розмірами робочого зазору:

- схеми з розміром зазору $\delta \leq (7 \div 10) \cdot \lambda$, де λ – зернистість порошку, умовно названі «малими»;
- схеми з розміром зазору $\delta \geq (7 \div 10) \cdot \lambda$, умовно названі «великими».

Схеми першого типу потребують створення сил притискання МАП до деталі за допомогою магнітного поля та частково за рахунок заклинювання порошку в певних зонах робочих зазорів. Використовують переважно для обробки феромагнітних деталей простих форм (тіло обертання, тіло пласкої форми). У якості найголовнішого параметра при цьому виступає сила магнітного поля діюча у робочій зоні. В схемах другого типу сили притискання (МАП) до деталі значною мірою створюються за рахунок сил динамічного навантаження при відносних рухах деталі та порошку і, в меншій мірі, за рахунок магнітного поля. Застосовується для оброблення заготовок із складною формою, як наприклад турбінних лопаток, зубчастих коліс, шестигранних труб та різальних інструментів таких, як спіральні свердла, розгортки, модульні фрези, тощо. Тут велику роль відіграють швидкість та напрямок відносного руху деталей у МАП.

Для оброблення деталей складної просторової форми, до яких відносяться різновиди осьового та кінцевого інструмент, таких як мітчики, розгортки, фрези (шпонкові, кінцеві), зенківки і т.д. Найбільше розповсюдження отримала схема, що містить кільцеву камеру та магнітну систему з магнітопроводом, обладнаним полюсними наконечниками, коаксіально розташованими з протилежних сторін камери, в якій формується МАІ та здійснює складний рух оброблювана деталь (рис. 1.11) [23].

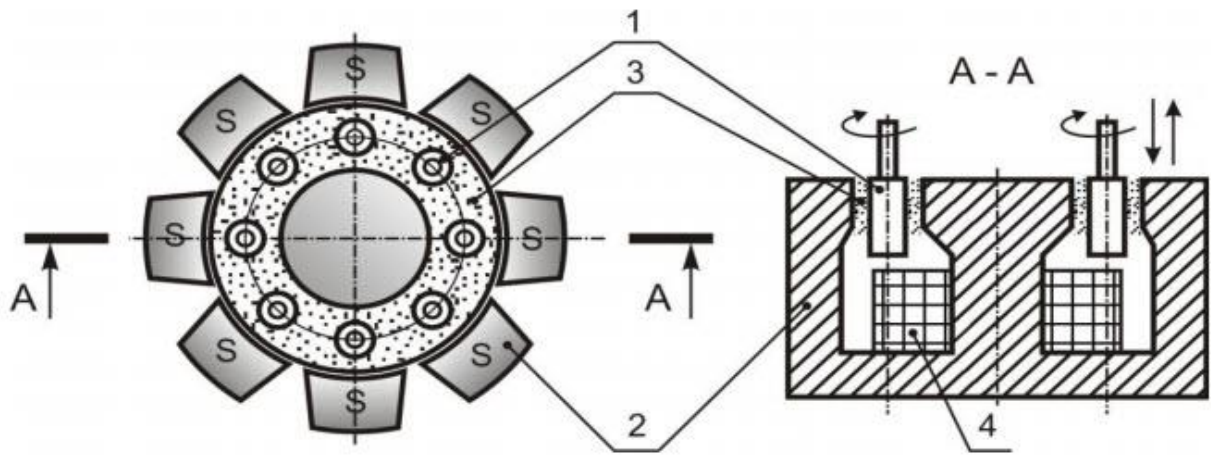


Рис. 1.11. Схема установки типу «кольцева ванна».

1 - заготовка, 2 – полюсні наконечники, 3 - магнітно-абразивний порошок,
4 - котушка електромагніта

Аналіз існуючих схем МАО показав, що для МАО борфрез, які можна відносити до деталей складної просторової форми, доцільно використовувати схему з великими магнітними зазорами в умовах кільцевої ванни. Це визначається двома факторами, а саме необхідністю створення достатньої швидкості відносно переміщення робочих поверхонь борфрез відносно АІ та МАО складної форми та забезпечити рівномірне оброблення складних робочих поверхонь бор фрез виключно в умовах типу кільцевих ванн.

1.3 Різновиди магнітно-абразивних порошків

Правильний вибір магнітно-абразивного порошку є одним з найважливіших факторів, які впливають на якість, продуктивність та ефективність абразивного оброблення в магнітному полі. Основними фізико-механічними властивостями, які визначають якість МАП є: магнітні характеристики, твердість, реакційна властивість по відношенню до оброблюваного виробу, міцність, структура його часток. Для МАО переважно використовують порошки трьох основних типів: механічні суміші, керметні та литі порошки [24].

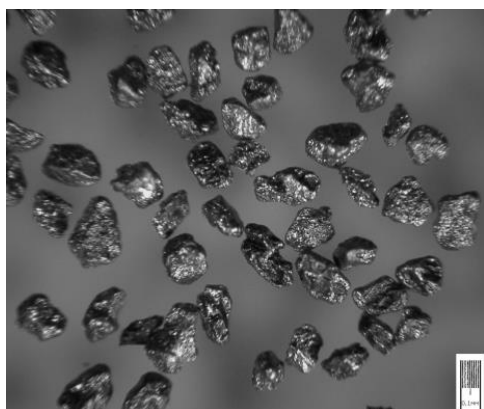
Механічні суміші – це суміші з порошків, що складаються з частинок, що можуть намагнічуватися, які залежно від умов експлуатації можуть бути з магнітно-м'якого матеріалу (заліза, легованого заліза), магнітно-твердого матеріалу (феритів, сплавів заліза з нікелем, кобальтом, алюмінієм) та абразивних часток (алмаза, корунду, карбіду бора, карбіду кремнію та ін.).

Керметні порошки – металокерамічні частинки, які являють собою гетерогенну композицію на феромагнітній основі з однією чи декількома керамічними (абразивними) фазами та малою взаємною розчинністю фаз. Зазвичай феромагнітною основою є залізо чи його сплави, а в якості абразивних фаз використовують оксиди алюмінію чи кремнію, карбіди кремнію чи титану, боріди титану, цирконію. Вміст абразивної фази у більшості випадків коливається від 10 до 30 %. Керметні порошки отримують методами порошкової металургії.

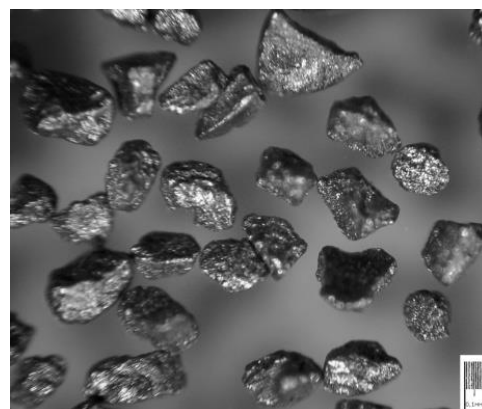
Литі порошки – частинки закристалізованого з рідкого стану феромагнітного матеріалу. До цієї групи належить підгрупа матеріалів, що широко використовуються у промисловості для різноманітних цілей – чавуни та загартовані сталі, феросплави (феррабор, ферровольфрам), магнітні сплави (альсифер, амперм) або підгрупа спеціальних магнітно-абразивних порошків. Використання в деяких випадках матеріалів першої підгрупи пояснюється передусім їх доступністю, так як порошки з них можуть бути виготовлені самим користувачем різними способами – дрібненням, різанням, та ін..

Загальним для більшості абразивних інструментів є те, що абразивні зерна в них, як правило, мають неправильну геометричну форму, яка в основному залежить від природи абразиву та технології його дроблення. Дряпаючи елементи зерен - вершини з визначеними кутами та радіусами округлення, а також мікро - або субмікро різальні кромки, що містяться на поверхні зерен. Продуктивність та якість оброблення в значній мірі залежать від форми частинок МАП. Можна виділити дві типові форми частинок, які визначаються перш за все способом їх виготовлення:

- осколкові, які утворені в результаті розмелу попередньо гранульованих з розплавів систем Fe-Si-Ti-C, Fe-Si-C матеріалів, які мають практично безпористу структуру, їх прикладами є: Полімам Т, Феромап, дріб чавунна колота – ДЧК (ДЧК_н, отримана в результаті розмелу попередньо гранульованих матеріалів, ДЧК_{б/у}, яка використовувалася на установках струминно-абразивного оброблення з наступною магнітною сепарацією) (рисунок 1.12);



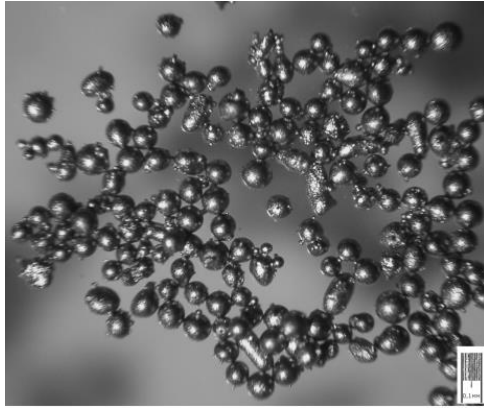
Полімам Т 200/100 мкм



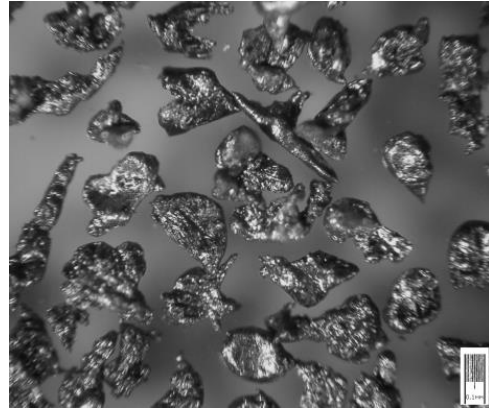
ДЧК_{б/у} 315/200 мкм

Рис. 1.12. Осколкова форма частинок магнітно-абразивних порошків

- округлі, утворені в результаті розпилення розплавів системи Fe-Si-C, Fe-S-Si-Al без наступного розмелу, до них відносяться ПР Р6М5, Полімам М_{сф} (частинки мають сферичну форму) та Царамам (рисунок 1.13). В окремих випадках використовують порошки Полімам М після механічного розмелу (Полімам М_{сф}), який за своїми властивостями практично ідентичний за складом та властивостями порошку ДЧК, який відноситься до осколкових.



ПР Р6М5 160/100 мкм



Царамам 315/200 мкм

Рис. 1.13. Округла форма частинок магнітно-абразивних порошків

Усі частинки мають неправильну геометричну форму (рисунок 1.12 та рисунок 1.13). Різниця у формі частинок порошків одного складу або походження визначається способом отримання, додатковим обробленням, методом класифікації та деякими іншими факторами. Незалежно від методу отримання порошку, кожне окреме зерно має на своїй поверхні різальні елементи – кромки, що характеризуються відповідними мікрогеометричними характеристиками. В процесі МАО використовують порошкові матеріали з достатньо широким фракційним складом від 100/63 до 1000/630 мкм, які використовують при отримання різних параметрів оброблюваних поверхонь.

До одного з простих методів мікроскопічного аналізу розмірів порошкових матеріалів та їх форми є метод визначення моношару частинок з наступним статистичним обробленням отриманих результатів. Враховуючи особливість процесу МАО та умов формування частинок МАП силами магнітного поля у МАІ при мікроаналізі порошків контролювали максимальний розмір проекції кожної окремої частинки в шарі та розмір цієї проекції у перпендикулярному напрямку [25]. Вимірювали не менше 100 частинок кожного типу та розміру частинок порошку та визначали відношення довжини до ширини – коефіцієнт нерівності $-k_f$, який характеризує форму та подовження зерен [24, 25] (табл. 1.1).

Таблиця 1.1. - Значення коефіцієнтів нерівності зерен різних порошкових

МММ – k_f

Тип порошку	Поліам Т			ДЧК _н *			ДЧК _{б/у} **			ПР Р6М5			Царамам			Поліам М	
Розмір частинок мкм	200/100	315/200	400/315	200/100	315/200	400/315	200/100	315/200	400/315	200/100	315/200	400/315	200/100	315/200	400/315	200/100	400/315
k_f	1,52	1,41	1,29	2,88	3,05	2,96	1,42	1,48	1,57	1,1	1,2	1,4	2,65	2,13	2,88	1,79	2,07

* – ДЧК_н, отримана в результаті розмелу попередньо гранульованих матеріалів;

** – ДЧК_{б/у}, що використовувалася на установках струминно-абразивного оброблення після магнітної сепарації.

Досліджено, що зі збільшенням розміру фракції від 200/100 мкм до 400/315 мкм радіуси округлення РК частинок зростають від 27 мкм до 138 мкм відповідно. Така зміна пов'язана з особливостями виготовлення порошків, їх складом та властивостями. Величина радіуса округлення РК частинок для порошків з округлою формою зерен зростає зі збільшенням фракції, а для осколкових типів МАП залишається практично незмінною.

Для всіх типів порошків з різними розмірами фракцій частинок від 200/100 мкм до 400/315 мкм розрахункові значення статистичних характеристик наведено в табл. 1.2. Було визначено величину середнього радіусу округлення РК частинок, значення зміни його статистичних характеристик – таких як ексцесу, асиметрії, моди, стандартного відхилення та дисперсії [25].

Таблиця 1.2. - Статистичні характеристики зміни радіусів округлення частинок

МАП

Тип порошку	Розмір частинок, мкм	радіус округлення РК частинок	Ексцес	Асиметрія	Мода	Стандартне відхилення	Дисперсія
Поліам Т	200/100	48,61	0,16	0,81	32,78	19,44	377,82

Полімам Т	315/200	65,69	3,60	1,22	49,17	19,40	376,39
Полімам Т	400/315	101,54	0,78	0,97	106,54	39,45	1556,21
ДЧК _н	200/100	26,52	0,65	1,06	24,59	12,89	166,19
ДЧК _н	315/200	38,73	0,58	0,95	24,59	18,66	348,26
ДЧК _н	400/315	45,46	0,94	0,96	32,78	18,19	330,82
ДЧК _{б/у}	200/100	52,26	2,79	1,42	40,98	25,41	645,81
ДЧК _{б/у}	315/200	74,50	0,96	0,79	57,37	29,47	868,30
ДЧК _{б/у}	400/315	63,17	-0,48	0,48	49,17	28,29	800,12
Царамам	200/100	28,30	3,39	1,63	24,59	19,89	395,48
Царамам	315/200	37,44	3,1948	1,458836	16,39	21,59	466,42
Царамам	400/315	60,21	1,92	1,39	32,78	35,76	1278,86
ПР Р6М5	200/100	63,65	0,45	-0,27	65,56	12,48	155,87
ПР Р6М5	315/200	125,95	1,41	-1,38	131,12	24,77	613,34
ПР Р6М5	400/315	137,82	-0,54	-0,11	131,13	33,69	1135,43
ПолімамМ _{сф}	200/100	66,36	-1,59	-0,14	106,54	33,88	1147,61
ПолімамМ _{сф}	400/315	115,19	-0,89	0,44	73,76	55,41	3070,20

Отримані характеристики геометричних та мікрогеометричних розмірів частинок дозволяють прогнозувати та корегувати умови МАО для забезпечення переважного видалення матеріалу з поверхні оброблюваних деталей або здійснювати переважне пластичне деформування поверхневого шару в процесі оброблення. Так за результатом аналізу величини $r_{кз}$ та k_f , частинок МАП можна рекомендувати для формування МАІ порошки з округлою формою, для забезпечення підвищеної полірувальної та зміцнювальної здатності за рахунок вигладжування оброблюваної поверхні, що в меншій мірі буде реалізуватися при використанні порошків з осколковою формою частинок, які виконують переважне мікрорізання та видалення матеріалу з поверхні деталей.

1.4. Конструкція,види та застосування стоматологічного інструменту – борфрез

Основними інструментами, які застосовують для препарування та обробки каріозних порожнин, є стоматологічні бори і наконечники. Стоматологічні бори або бори зубні – це обертальний різальний інструмент, який використовують для препарування емалі, дентину та цементу зуба. Борами препарують каріозну

порожнину, розширюють та збільшують порожнину зуба, розкривають вічка корневих каналів, створюють на стінках від препарованої каріозної порожнини насічки та ретенційні пункти для пломб, видаляють (при показах) пломбувальні матеріали з порожнини. Борфрези в стоматології приймають одну з найважливіших функцій для дослідження (лікування) твердих тканин зуба; головки їх мають різну форму, а хвостовик призначений для приєднання до прямого або кутового наконечника; при обробці тканин зуба бормашиною зі швидкістю обертання бору до 10000 об / хв. використовують сталеві бори; емаль зуба цими борами слід обробляти на більш низьких швидкостях обертання. Для роботи на підвищених швидкостях обертання (до 30000 оборотів та для турбінних бормашин застосовують бори з головкою з твердого сплаву (вольфраму та кобальту) або бори з головкою з алмазним покриттям. Розмір борів позначається номерами. Діаметр бора №1=0,85мм, №3=1,1 мм, №5=1,6 мм, №7=2 мм, №13=3,1 мм. [26]

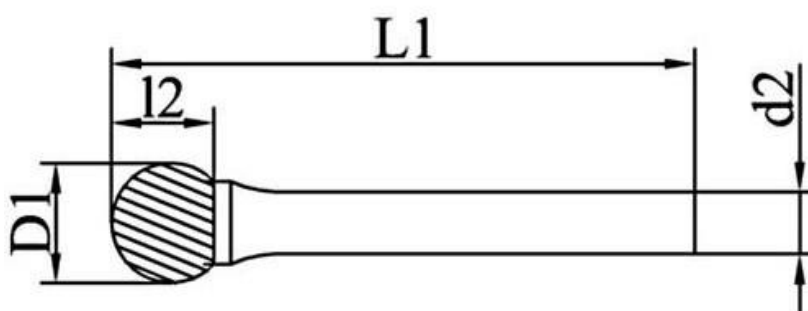


Рис.1.14. Конструкція борфрези:

D1 - діаметр різальної частини, мм;

d2 - діаметр хвостовика, мм;

l2 - довжина різальної частини, мм;

L1 - довжина загальна, мм.

Бори поділяють на 3 групи:

- бори для прямого наконечника з порівняно довгою, повністю гладкою фіксуючою частиною (довжина бору 44 мм);

- бори для кутового наконечника з порівняно короткою фіксуючою частиною, з фаскою на їх поверхні, в яку входить фіксуючий елемент (довжина бору 22 - 27 мм);

- бори для турбінного наконечника з порівняно короткою, повністю гладкою фіксує частиною (довжина бору 22 - 27 мм).

Бори довжиною 17 мм застосовуються у практиці дитячої стоматології та при лікуванні нижніх зубів мудрості.

Залежно від призначення інструменту кількість, величина та геометрія лез нарізки може змінюватися. Найбільш часто використовують типи нарізки (рис. 1.15).

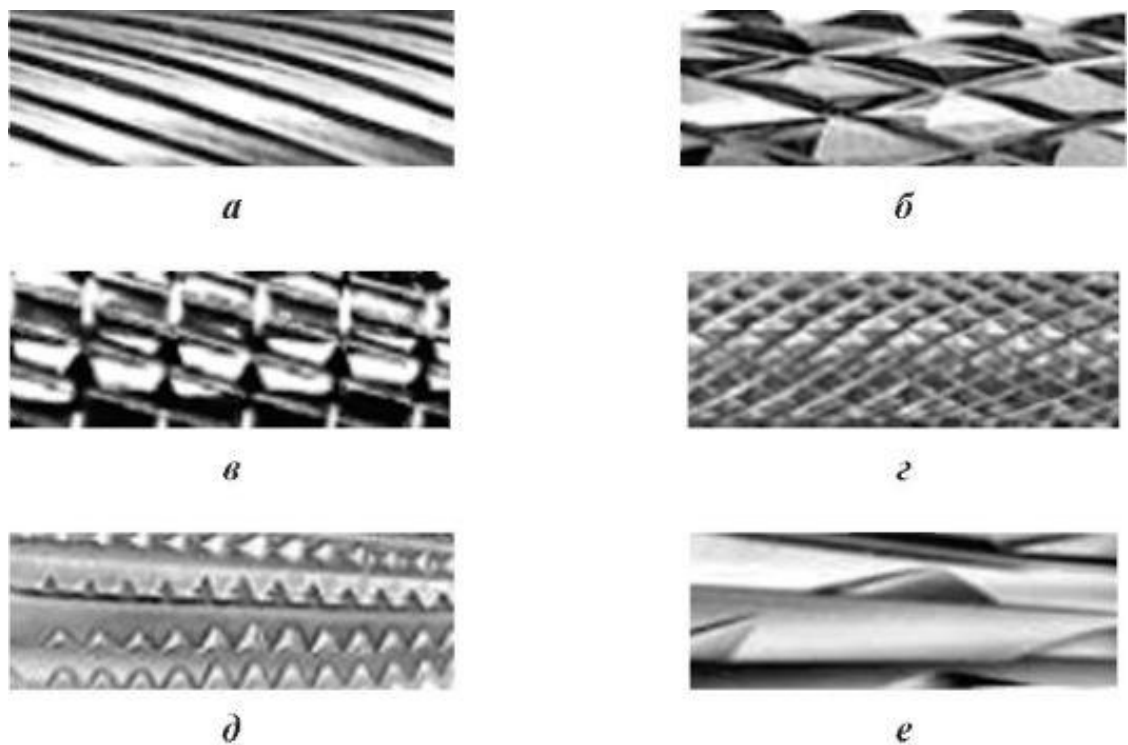


Рис. 1.15. Типи нарізки твердосплавних інструментів: а - однорядна; б - перехресна; в - спіральна; г - призматична; д - поперечна; е - зубчаста.

За формою робочої головки бори поділяються на (Рис. 1.16) [27] :

- Кулясті;
- Циліндричні (фіссурні);
- Конусоподібні;

- Колесовидні;
- Зворотньококусні;
- Фініри (з дрібною насічкою);
- Поліри (без насічок).

Борфрези різних форм виготовляють різних розмірів.

Кулясті бори. Мають головку округлої форми, на якій є такі один за одним або однаково спрямовані нарізки, що утворюють гострі гребені. Застосовують для розкриття каріозної порожнини, некректомія, видалення старих пломб, створення в тканинах зуба ретенційних пунктів.

Циліндричний, фіссурний бор. Форма робочої частини відповідає циліндру, на якому нанесені поздовжні нарізки з гострими гранями. Торцева частина бору виконана у вигляді конуса або площадки. Використовується для розкриття або розширення каріозної порожнини, створення стрімких стінок порожнини. А ще дану форму бора застосовують для формування стінок порожнини під кутом 90° та ретенційних пунктів. Вони також забезпечують доступ до ураженого дентину і сприяють створенню фальця.

Конусоподібний бор. На бічній поверхні нанесені поздовжні гострі грані. Бор використовують для формування стінок порожнини під кутом, який перевищує 90°, Застосовують такий інструмент для вирівнювання дна порожнини та створення точок додаткової ретенції.

Зворотньококусний бор. Застосовують для препарування молярів при порожнинах 1-го класу за Блеком, пришийковій ділянці (5 клас), для препарування та формування порожнин 2-го класу. Також використовують для оброблення бічних стінок порожнин, вирівнювання дна порожнини, створення ретенційних пунктів. Леза бору мають закруглену конфігурацію, що запобігають утворенню тріщин

Колесоподібний бор. Має головку у вигляді вузького колеса, по колу якого розташовані ріжучі грані. Використовується для насічок, зняття ортопедичних конструкцій. Для створення ретенційних лінійних підрізувань на стінках каріозної порожнини, видалення старих пломб і коронок.

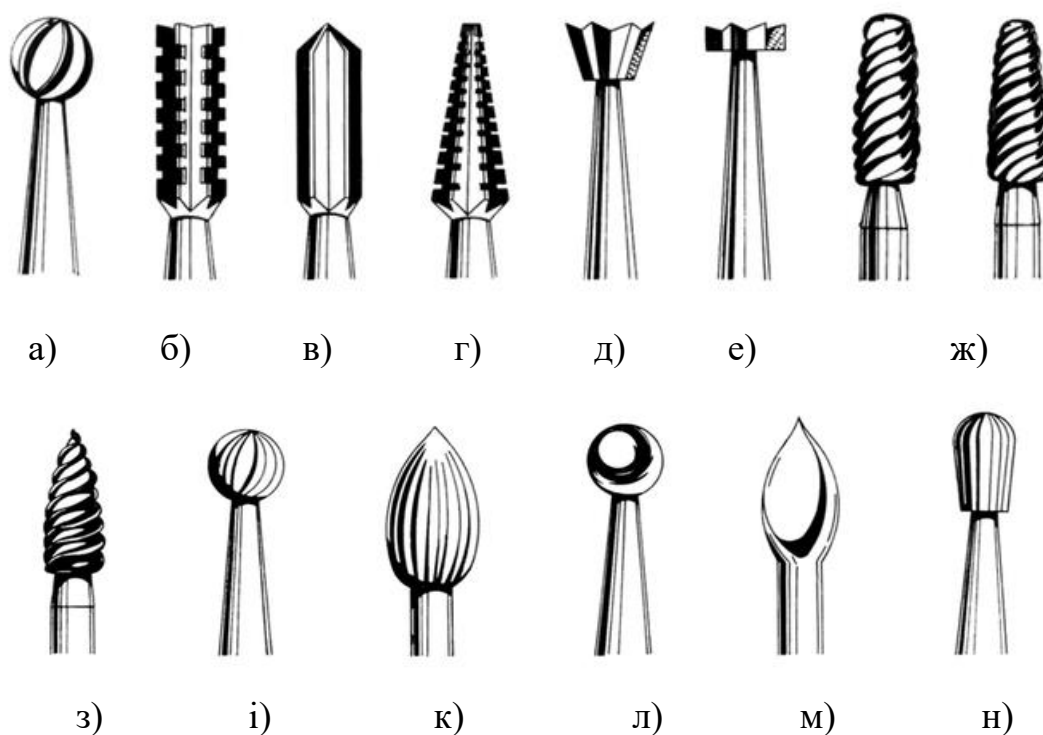


Рис. 1. 16. Стоматологічні інструменти загального призначення: а - кулястий; б - прямий циліндричний; в - прямий конусоподібний; г - конусний; д - зворотний конусний; е - колесоподібний; ж - фініри циліндричний; з - фініри конусоподібний; і - фініри кулястий; к - фініри полум'яний; л - полір кулястий; м - полір полум'яний; н - фреза овальна.

Бори розрізняються за матеріалом, з якого вони виготовлені [28]: Сталеві;

- Твердосплавні;
- Алмазні.

Твердосплавні борфрези.

Робочі борфрези, найчастіше виготовляють твёрдосплавними, так як при застосуванні, на робочу головку припадає велике навантаження, стоматологічні твердосплавні борфрези повинні витримувати без втрат в ефективності. Робоча частина твердосплавного бору виготовляється з карбіду вольфраму. На ній нарізуються 6-8 лопатей з гострими робочими гранями. Твердосплавні бори мають високу продуктивність різання, можуть витримувати теплові перевантаження та ефективно обробляти емаль, дентин, амальгаму, композити та інші матеріали на великих швидкостях, в тому числі і на турбінних

бормашинах. Різальна ефективність твердосплавних борів більше, ніж алмазних, однак, як правило, вони менш довговічні.

Різноманітність твердосплавних борфрез представлено двома групами інструментів:

а) інструменти, цілком виконані з твердосплавного матеріалу - найбільш стійкі до екстремальних навантажень;

б) інструменти з високоміцної сталі з робочою частиною з твердосплавного матеріалу - менш довговічні, мають обмежені показання до застосування.

Залежно від призначення інструменту кількість, величина та геометрія лез нарізки може змінюватися. Твердосплавні інструменти застосовуються в клінічній та лабораторній практиці для препарування твердих тканин зуба, розрізання та шліфування кераміки, гіпсу, пластмас, сплавів благородних металів, титану та інших твердих матеріалів. Вибір інструменту для проведення різних маніпуляцій визначається як конфігурацією нарізки, так і кількістю різальних лез робочої частини. Випускають інструменти з кількістю граней від 6 до 30. Для грубої обробки використовують борфрези з найменшим числом зубців, для фінішної обробки, для запобігання розтріскування матеріалу - з великим числом зубців.

Недоліком більшості твердосплавних борів є те, що у них робоча частина припаяна до стрижня з нержавіючої сталі. Ця пайка - слабе місце твердосплавних борів, при бічних навантаженнях може відбуватися відлом робочої частини від стрижня. Тому при роботі з твердосплавними борами слід уникати сильного тиску на бор

За рахунок додаткової насічки на робочої частини бори мають підвищені різальні властивості. Конструкція робочої частини не дає інструменту забиватися стружкою, запобігаючи його перегріванню. Крім того, спеціальна конфігурація різальних граней дозволяє лікарю працювати в порожнині рота пацієнта не тільки ефективно, а ще й без травмування.

Чим більше граней мають фініри, тим менше його різальна здатність і тим вище якість полірування.

В даний час, у зв'язку з розвитком прямих реставраційних технологій, зросла потреба стоматологів в інструментах для швидкого та ефективного шліфування та полірування композитів. Багато стоматологічних шкіл рекомендують використовувати з цією метою твердосплавні фініри, віддаючи їм перевагу перед алмазними борами:

- Твердосплавні фініри з 10-12 гранями. Ці грані мають малу висоту, тому вони менш агресивні при різанні. Застосовуються для фінірування країв емалі, контурування та шліфування пломб з композитів або амальгам. Однак їх не рекомендується застосовувати для обробки кераміки, яка від цього може тріснути.

- Твердосплавні фініри з 20-32 гранями забезпечують ще більш високу якість обробки. Вони застосовуються для полірування композитних пломб, особливо у випадках, коли необхідно домогтися високої якості поверхні та «сухого блиску» реставрації.

Виходячи з технології виробництва твердосплавних борів, їх можна розділити на 2 групи. Робоча частина борів і фрез 1 групи - так званих «twopiecescarbide» - представлена твердим сплавом металокерамічного матеріалу, виготовленого за способом порошкової металургії. Він містить два головних компонента: тверді речовини та зв'язуючі метали. Серед твердих речовин основне місце займають карбіди вольфраму. Ось чому іноді такі бори називають карбідні. В якості зв'язки переважно використовують кобальт. Технологічний процес деяких виробників, з метою попередження сколювання граней різців робочої поверхні, дозволяє здійснювати концентрацію карбіду вольфраму по краях різальних поверхонь, які безпосередньо контактують з робочою тканиною. Застосовуваний при виробництві фрез високолегований сплав металу проходить спеціально розроблений технологічний рівноважний процес ущільнення структури та поліпшення властивостей, що різко підвищує зносостійкість інструменту. При створенні різальних кромek фрез

застосовується спеціальна алмазна фрезерна головка, керована комп'ютерними програмами. Точний розрахунок геометрії при створенні форми різальної поверхні фрези дозволяє тривало та з максимальною ефективністю використовувати інструмент, обробляючи ними різні матеріали. Хвостовик інструментів першої групи виконано з високоякісної пружинної сталі високої міцності.

У 2 групі робоча частина і хвостовик виготовлені з однієї заготовки карбиду вольфрама- так званого «оперіесескарбиде». Хоча такі бори більш дорогі, але вони дуже точно відцентровані і не ламаються при експлуатації. Вони значно перевершують за якістю бори першої групи («twoріесескарбиде»). Твердосплавні фрези до діаметру робочої частини 023-го 150-розміру, а бори до 012-го виготовляються з цільного твердого сплаву, тому вони особливо стійкі до руйнування.

Фрези застосовують в основному в зуботехнічній лабораторії для різання сплавів благородних і неблагородних металів, шліфування титанових сплавів, пластмаси, кераміки, гіпсу. Фрези можуть мати до 15 різновидів нарізки зубів, які позначаються латинськими літерами і різнокольоровим кодуванням (табл. 1.3)

Таблиця 1.3. - Типи нарізки зубів твердосплавних бор фрез [26]

Типи нарізки зубів	Маркування		Застосування
	Літерне	Кольорове	
Екстракторного перехресна	XCE	● чорний	Для великого знімання пластмас і гіпсу
Екстравелика однорядна	XCN	● чорний	Для обробки моделюючого гіпсу та пластмас
Дуже велика однорядна	SCE	● зелений	Для грубої обробки всіх пластмас, ложковий матеріалів і гіпсів
Дуже велика однорядна	SCN	● зелений	Для гладких поверхонь всіх пластмас
Велика	CE	білий	Для обробки сплавів

перехресна			неблагородних металів. сплавів для лиття по моделям і грубого знімання всіх покровних матеріалів
Груба однорядна	CN	білий	Для всіх матеріалів дозволяє відшліфувати пластмасові поверхні
Дрібна перехресна	FE	● червоний	Для обробки всіх видів матеріалів, обробки сплавів благородних / неблагородних металів. сплавів для лиття за моделями, пластмас
Дуже дрібна однорядна	SFE	● жовтий	Для дуже тонкої обробки всіх сплавів: пластмас, кераміки, мікрогібридних композитів
Дуже дрібна однорядна	SFN	● жовтий	Для отримання гладкої шліфованої поверхні всіх сплавів, композитів, пластмас
Вкрита алмазним шаром	D	● темно - синій	Для виготовлення ретенцій на металевих поверхнях керамічних і пластмасових облицювань
Вкрита алмазним шаром, дрібна	DF	темно-синій з білою смугою	Для тонкої зачистки металевих поверхонь керамічних облицювань
Спіральна дрібна	SPF	● фіолетовий	Для отримання дуже точної шліфувальної поверхні всіх сплавів і для обробки титану
Леворізальна L-нарізка зубів	FLE, LE, SCLE	коричневий - з білою смугою	Спеціальна фреза для лівші, застосовується для обробки титану
Дуже дрібна	SFTE	без колірного маркування	Для дуже холодного шліфування (Покрита шаром титан-нітриду). Для обробки сплавів дорогоцінних металів і кераміки
Тример	IT	без колірного маркування	Для вільної від напружень закладки литих деталей

Фрези з однорядною нарізкою зубів видаляють більший обсяг матеріалу, ніж з перехресною нарізкою зубів. При їх використуванні потрібно дотримуватися підвищені міри безпеки. Обов'язково застосувати захисні окуляр і маски, так як в процесі обробки, особливо металів, утворюється велика

стружка та частки металу с гострими краями. Твердосплавні інструменти мають високу різальну здатність та тривалий термін експлуатації. Вони універсальні та підходять для багатьох робіт, наприклад, лікування зубів та протезування.

Інструменти відрізняються по наступним ознакам:

- по кількості різців (зубів) робочої поверхні;
- по геометрії та куту різання;
- по відстані між різцями.

Кількість різців на робочої поверхні інструмента визначається тими задачами, для яких призначений той чи інший інструмент. Однак слід зауважити, що чим більше кількість різців, тим більш гладкою стає поверхню після обробки. Ось чому для звичайних процедур використовують бори з 6 або 8 різцями. Карбідні бори з великим числом різців застосовуються для надання форми і шліфування стоматологічного матеріалу після застосування алмазних борів.

1.5 Висновки і постановка задач досліджень

Підвищення працездатності борфрез визначається характером їх оброблення на фінішних етапах роботи. Більш сконцентруватися на формуванні сприятливої мікрогеометрії робочих поверхонь РІ, округленні РК та стану фізико-механічних властивостей поверхонь та поверхневих шарів. Щоб отримати, вище перераховані властивості, традиційно використовують шліфування. В нашому випадку даний метод фінішного оброблення борфрез не може одночасно формувати всі показники якості. Саме тому актуальним є використання методу MAO, який забезпечує комплексний вплив на робочі елементи РІ. Метод MAO з кільцевим розташування робочої зони дозволяє ефективно поєднувати зазначені характеристики фінішного оброблення, тому використання цього методу є перспективним.

Мета роботи:

Забезпечити можливість працездатності стоматологічних твердосплавних борфрез шляхом їх очищення, загострення та розполірування мікровідколів на робочих різальних кромках за допомогою МАО в умовах великих магнітних зон кільцевого типу

Задачі дослідження:

1. Виконати аналіз фінішних методів оброблення осьового та кінцевого різального інструменту, що забезпечують формування показників його якості.
2. Обґрунтувати доцільність застосування методу МАО стоматологічних борфрез.
3. Встановити раціональні умови відновлення працездатності стоматологічних борфрез за допомогою методу МАО.

2. МАТЕРІАЛИ, ПРИСТОСУВАННЯ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріали досліджень

Дослідження проводили на кулястих за формою твердосплавних борфрезах діаметром 2 мм. Ескіз кулястої борфрези представлений на рисунку 2.1.

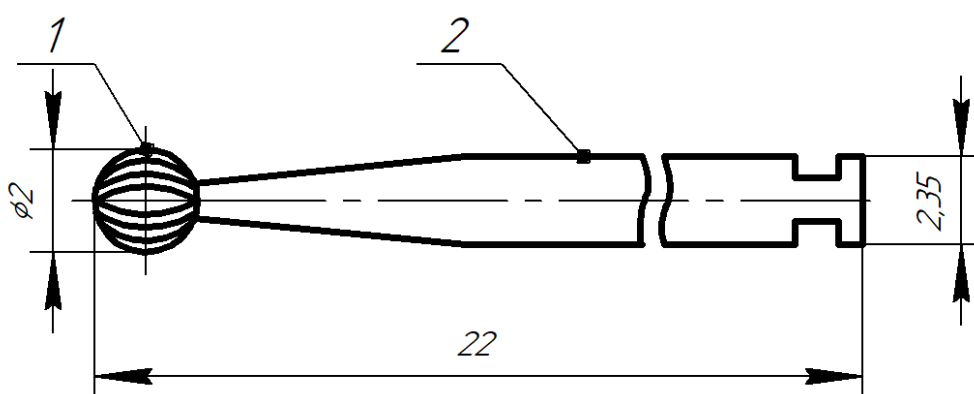


Рис.2.1. Ескіз кулястої стоматологічної бор фрези: 1. Робоча частина;
2. Хвостовик.

Зазвичай у стоматологічній практиці поєднують препарування з обробкою складних поверхонь та вирішенням різних функціональних завдань такі як, різання, свердління, шліфування, полірування та ін. Взагалі ефект препарування зубів багато в чому залежить від відповідності ротаційного інструменту етапу препарування. Вибір інструмента часто залежить від професійного досвіду лікаря, його ставлення до інструменту, сформованим в процесі стоматологічної діяльності. Разом з тим, особливо на початковому етапі професійної діяльності, слід дотримуватися рекомендацій по функціональному призначенню кожного інструменту з урахуванням матеріалу, форми та розмірів його робочої частини для кожного оперативного втручання [28].

Твердосплавні бори, призначені для препарування емалі та дентину. Після обробки такими стоматологічними борами залишаються рівні та гладкі

поверхні, тому доцільно застосовувати їх при препаруванні. Крім того, твердосплавні бори використовують для протезних зубів з металу.

Твердосплавна головка бору отримується шляхом спікання або гарячого пресування порошку карбіду вольфраму та кобальту в умовах вакууму. Згодом твердосплавні заготовки розділяють на фрагменти та припаюють до хвостовика. Після цього за допомогою великих алмазних дисків голівці бору надають необхідну форму та різальні кромки. Зв'язок твердосплавних головок із хвостовиком досить надійний, тому відрив головки відбуваються досить рідко. Після завершення обробки твердосплавних головок хвостовик укорочують та зменшують в діаметрі або фрезерують виріз для фіксації, щоб вийшов бор для прямого, кутового або турбінного стоматологічного наконечника.

Більшість призначених для препарування стоматологічних борів має бта рідше 8 зубів. Бори для полірування зазвичай мають 12 зубів, іноді 20 або 30. Різальна поверхня кожного зуба утворена з'єднанням двох поверхонь: передньої та задньої. Кут між задньою поверхнею грані і препарувальною поверхнею називається заднім кутом. Цей кут визначає обсяг матеріалу біля різальної кромки. Кожний діаметр бор фрез має оптимальне значення задніх кутів. Чим більше діаметр стоматологічного бору, тим менше значення цього кута потрібно. Чим менше задній кут, тим міцніше різальна кромка. Однак, якщо цей кут дуже малий, то задня площа кромки може торкатися препарувальної поверхні, що призводить до перегріву та зменшує ефективність препарування.

Кут, під яким проходить проведена від різальної кромки до центру обертання радіальна лінія, називається головним переднім кутом різального стоматологічного інструменту. Цей кут може бути позитивним або негативним. Чим більш виражений позитивний головний передній кут, тим гостріше різальна кромка бору або вище його різальні властивості. Позитивний головний передній кут послаблює різальну кромку, тому кромку бору виготовляють або з негативними, або з нульовими (радіальними) значеннями цього кута. Така форма погіршує різальні якості бору, однак підвищує його міцність. Грані зазвичай розташовуються по спіралі, які відділяються пазами-канавками. Число витків

спіралі, або кут нахилу гвинтової канавки бору, також визначає різальні властивості інструменту. Стоматологічний бор з великим кутом нахилу гвинтової канавки створює більш гладку поверхню препарування і працює з меншою вібрацією, що також зменшує зношування інструменту і перешкоджає попаданню стружки в канавки.

У деяких борах грані пересічені поперечними борозенками. Стоматологічні бори такої конфігурації називаються зубчастими. Такі бори мають дещо більшу продуктивність різання. Незважаючи на це, бори з гладкими гранями краще використовувати для препарування зубів при суцільнолітій реставрації. Зубчасті бори залишають глибокі поперечні борозни [28].

Зазвичай кулясті твердосплавні борфрези мають широкий спектр для застосовують:

- для препарування каріозіоних порожнин на одній поверхні зуба (1 та 2 класу);
- для видалення ураженого дентита (некретомія);
- для формування напівкруглих некретомічних ретенційних точок на дні та стінках порожнини;
- для розширення кореневих каналів;
- для розкриття порожнини зуба.

На рисунку 2.2 зображено куляста за формою твердосплавна борфреза, в роботі використовували саме такі борфрези для проведення експериментів.



Рис. 2.2. Зображення кулястої бор фрези

2.2. Конструкція та призначення пристосування для оцінки округлення РК

Для проведення експериментів було розроблено та спроектовано спеціальне пристосування, призначене для визначення розмірів робочої частини малогабаритних інструментів, а саме борфрез, які використовують в лікувальній стоматології. За основу конструкції обрали мікроскоп МБС-9, який призначений для збільшення фокусної відстані та для розгляду малогабаритних деталей, в даній роботі виконували дослідження параметра k , який характеризує зміну радіусів округлення твердосплавних кулястих борфрез при їх магнітно-абразивному обробленні, які використовують в лікувальній стоматології (рис.2.3).

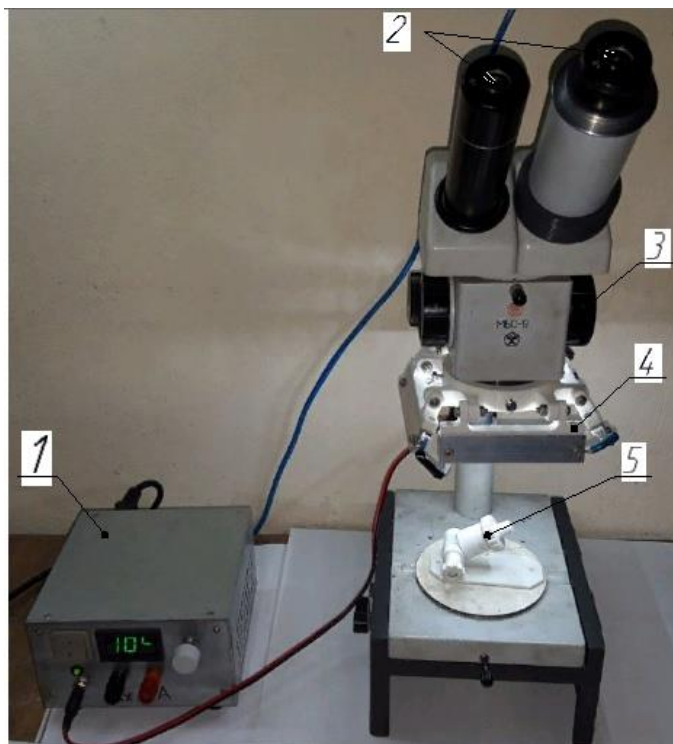


Рис. 2.3. Зовнішній вигляд пристосування на основі мікроскопа МБС – 9

Таблиця 2.1. - Технічні характеристики мікроскопа МБС – 9

Збільшення, крат	3,33-100
Лінійне поле зору, мм	39,3-2,4
Робоча відстань мікроскопа, мм	64
Живлення джерела світла здійснюється через понижуючий трансформатор від мережі змінного струму	напругою 220 В, частотою 50 гц
Габарити приладу в робочому положенні (без підлокітників і освітлювача), мм,	не більше: 230x190x420
Маса приладу, кг	не більше - 7

Живлення джерела світла здійснюється через понижуючий трансформатор, який має можливість регулювання напруги в межах 4 – 12 В при максимальній силі струму 1,5 А, від мережі змінного струму(1). Оптична система мікроскопа складається з об'єктивів – окулярів (2), для вимірювань борфрези, в якості правого окуляру використано окуляр з мірною шкалою. Для фотофіксації результатів на мікроскоп спроектовано пристосування для встановлення цифрової камери. Ручки перемикання величини збільшення та регулювання фокусної відстані 3. Навколо оброблюваної деталі змонтовано LED підсвітку (3), яка забезпечує кращу якість зображень за рахунок підсвітлення з можливістю регулювання кута установки LED панелей.

Пристосування для установки борфрез(5) виготовлене за допомогою адитивного виробництва на FDM3D принтері з міцного та твердого ABS+ пластику. Спроектоване пристосування розташовувалось на робочій поверхні мікроскопа на спеціальному двохкоординатному столику(рис.2.4). На якому вмонтований тримач з базовим отвором, для закріплення пристосування з дослідними зразками, в конкретному випадку – це тримач борфрез з діаметром хвостовика 2,3 мм (1). Пристосування має можливість обертання бору з тримачем (2) навколо своєї осі в стакані (3) та регулювання стоматологічного інструмента під необхідним кутом до горизонтальної площини за рахунок затискного гвинта (4).

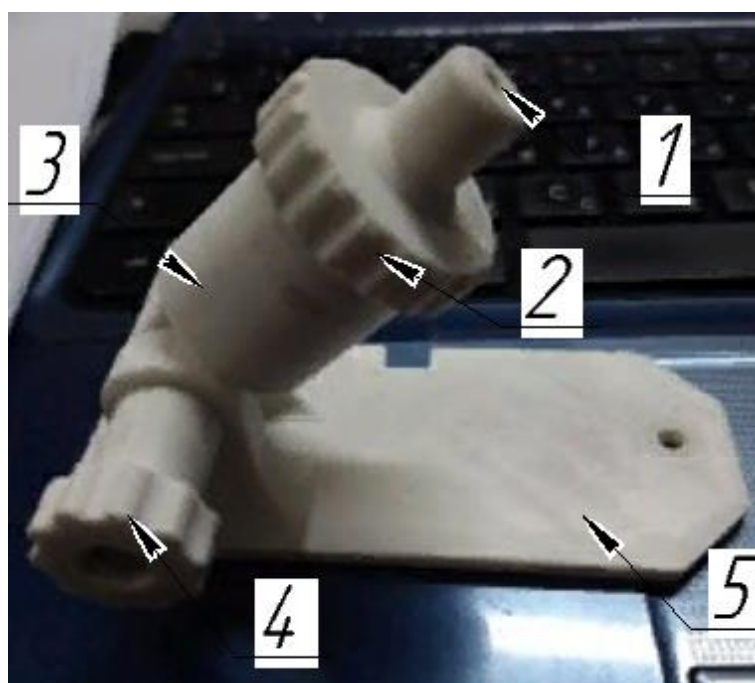


Рис.2.4. Пристосування для оцінки радіусу округлення РК борфрез на мікроскопі.

Для фотофіксації використовували фотоапарат (можливе також використання смартфона). За допомогою отриманих зображень в подальшому вимірювали параметр k , який характеризує зміну радіуса різальних кромek борфрез.

Після отримання збільшеного зображення борфрези, за допомогою фотоапарата, його завантажували в програму КОМПАС 3D. В якій вимірювали необхідні параметри інструменту для подальшого їх аналізу.

За допомогою даного пристрою виконували оцінку зношення та візуальну оцінку результатів оброблення за допомогою методу МАО. Проблеми контролю стану робочих поверхонь такого інструменту полягають в малому їх діаметрі і складності застосування традиційних методів, а саме застосування профілометрів.

2.3. Дослідний стенд для МАО з кільцевою робочою зоною.

Схема МАО з великою робочою зоною кільцевого типу використовується для оброблення різнотипного РІ, лопаток газотурбінних двигунів та інших циліндричних та складнопрофільних деталей. Відзначено, що схема реалізована на дослідно-промисловому вертикально фрезерному верстаті типу ОЦ – Іжевськ (рис.2.5).

Установка для МАО складається з магнітної системи, встановленої на нерухомому горизонтальному робочому столі та універсальній головки, що кріпиться до шпинделя верстата, який має можливість рухатися у вертикальному напрямку. Вісь шпинделя співпадає з вертикальною віссю магнітної системи. Магнітна система складається з розгалуженого, симетричного магнітопроводу з коаксіально розташованими полюсними наконечниками (1), які утворюють між полюсами кільцеву робочу зону (2), яка заповнюється МАП, який під дією магнітного поля формується в процесі оброблення в МАІ. Середній діаметр кільцевої робочої зони дорівнює 200 мм, її висота – 30 мм, ширина – 35 мм. Така конструкція дає можливість обробляти деталі з різною просторовою формою та в широких межах їх розмірів. Магнітна індукція у вільному від МАП міжполюсному просторі може регульовано змінюватись в межах 0,02 – 0,5 Тл, що достатньо для використовуваної схеми

МАО. Частота обертання головного шпинделя змінюється в межах 0-500 об/хв, а мінішпинделя, розташованого на обертаючійся планшайбі, 0-1000 об/хв.



Рис. 2.5. Експериментальна магнітно-абразивна установка типу "кільцева ванна"

Універсальна головка являє собою базову плиту (3) на якій з одного боку закріплюється з можливістю повороту навколо вертикальної осі пристрій повороту оправки (4) відносно площини кільцевої ванни (рис. 2.6). В пристрої встановлено мінішпиндель, у якому закріплюється оправка з оброблюваною борфрезою. Оправка (5) має можливість вільно обертатися навколо власної осі і осі мінішпинделя. З протилежного від місця кріплення інструменту боку на осі мінішпинделя (4) встановлено редуктор, який з'єднано з двигуном постійного струму.

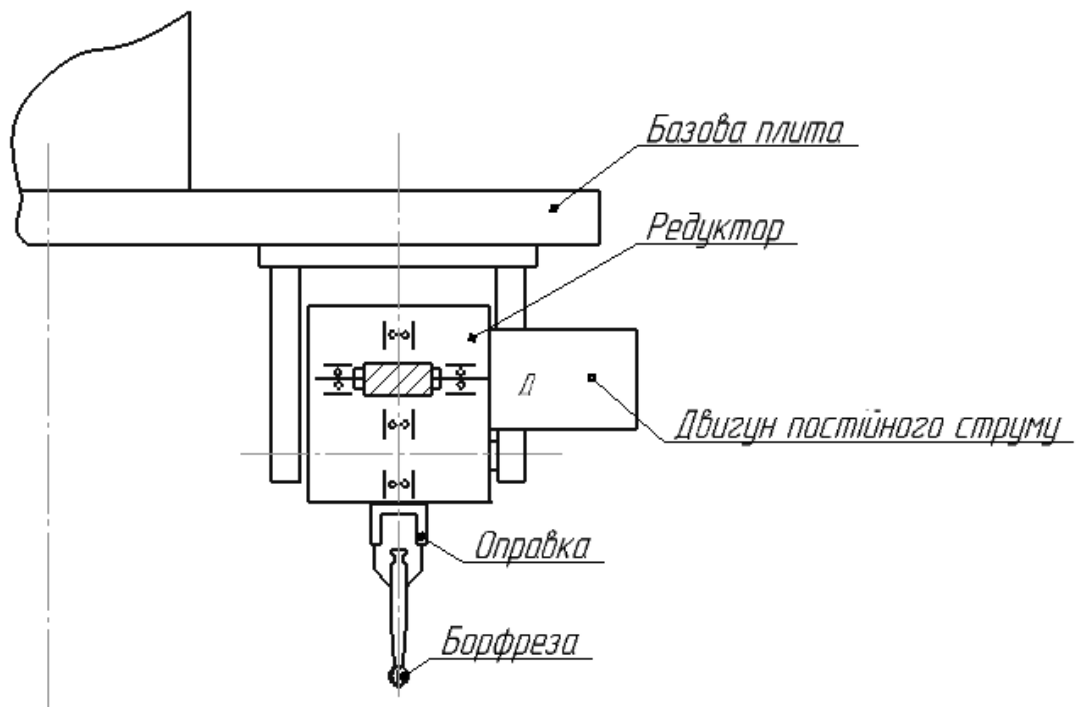


Рис.2.6.Схема пристрою повороту оправки

Додатково на плиті, радіально до встановленого мінішпинделя розташовується другий змінний мінішпиндель спрощеної конструкції (6), що не передбачає обертання деталі навколо власної осі, має можливість керованого повороту навколо вертикальної осі і використовується для встановлення в ньому додаткового формоутворюючого МАІ елементу. Основний і додатковий мінішпинделі мають можливість розташовуватися під різними кутами по відношенню до дотичної до середньої лінії кільцевої ванни. При MAO оброблювана деталь, закріплена на оправці, може обертатися навколо осі кільцевої ванни разом з універсальною головкою та навколо власної осі.

Таким чином налаштування оправки з борфрезою можна виконувати нахилом осі борфрез до площини робочої зони (p), що забезпечує різні варіанти розташування інструменту в робочій зоні (рис.2.7).

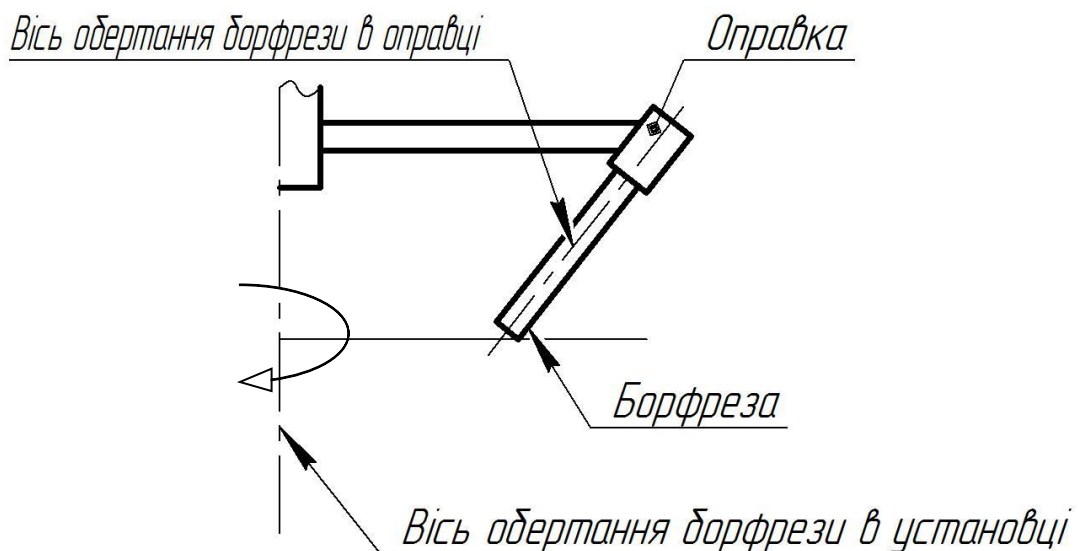


Рис.2.7.Схема розташування борфрез в робочій зоні під кутом ρ

Оброблення можливо виконувати при різних режимах – в умовах «натікання» (рисунок 2.8а) та «стікання» (рисунок 2.8б) феромагнітного середовища на оброблювані поверхні деталей.

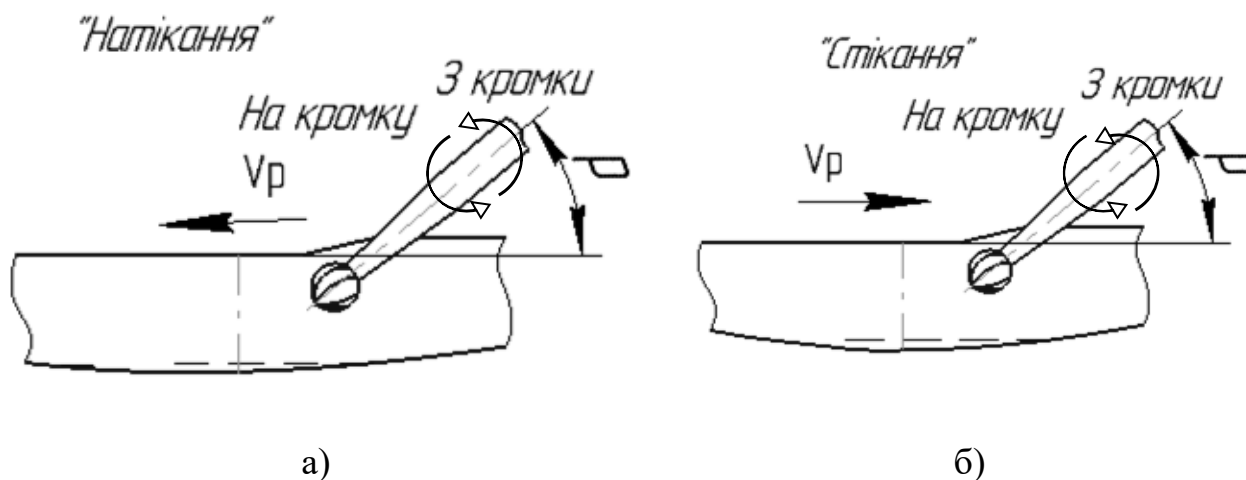


Рис. 2.8. Схеми оброблення стоматологічних борфрез:

а) режим «натікання»; б) режим «стікання»

2.4 Магнітно-абразивні матеріали, що використовували при МАО

Якість та продуктивність магнітно-абразивного оброблення в великій мірі залежить від коректного вибору магнітно-абразивного порошку (МАП) та його

експлуатаційних характеристик. Ефективне використання зазначеного методу оброблення неможливо без вичерпної інформації про властивості порошкових магнітно-абразивних матеріалів (МAM), які використовуються, а саме – форми і розмірів частинок порошку [27, 32], складу і структури МAM, які визначають мікротвердість, міцність зерен порошку і окремих його компонентів, особливості взаємодії з поверхнями, що оброблюються, стійкість до руйнування і зношення, [25, 27], реологічні властивості порошкового середовища [26, 27], яке знаходиться під впливом магнітного поля. На ефективність оброблення в більшій мірі позначаються індивідуальні властивості абразивних зерен і характер сумісної дії зерен на оброблювану поверхню. При MAO під впливом магнітного поля порошок, ущільнюючись, виконує роль абразивного інструменту. Ущільнення, як відомо, за інших рівних умов залежить від форми частинок порошку. Чим більше він ущільнений, тим менше міжчасткова пористість і тим більші контактні плями з оброблюваною поверхнею. Сформульовано одну з головних вимог до оптимальної форми частинок магнітно-абразивного порошку: вона має забезпечувати розміщення на поверхні частинок магнітно-абразивного порошку (МАП) якомога більше різальних елементів та максимальну ступінь його ущільнення. Крім того, потрібно, щоб частинки взаємодіяли з оброблюваним матеріалом рівномірно, це призведе до тривалого збереження технологічної стійкості частинок. Тому необхідно, щоб форма частинок сприяла її частому провертанню під дією механічних сил в робочому просторі.

Вибір форми частинок МАП значною мірою визначається твердістю їх структурних складових та оброблюваного матеріалу. Для полірування загартованих сталей та інших твердих матеріалів рекомендується використовувати МАП, частинки якого складаються з феромагнітної матриці з твердими абразивними включеннями. При поліруванні кольорових металів та сплавів доцільно використовувати МАП з високою інтегральною твердістю частинок. При цьому округла форма частинок забезпечує вищі класи шорсткості, а частинки осколкової форми – більше знімання матеріалу.

За останні часи для МАО застосовують порошкові матеріали, які умовно розділяють на декілька груп, а саме: механічні суміші магнітних і абразивних частинок, порошкові матеріали, отримані методами порошкової металургії – так звані керметні та плаковані порошки, та порошки отримані шляхом диспергування розплавів з подальшою їх класифікацією і розмелом [27, 32, 33]. Дослідження виконанні із застосуванням зазначених вище груп порошків показали, що схеми МАО та умови в яких виконується оброблення є визначальними при виборі групи та типу порошку.

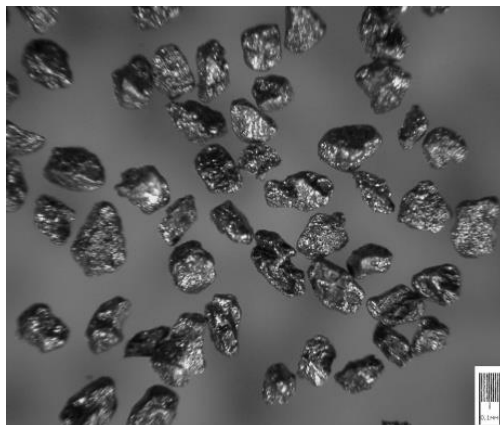
При роботі з виробами простої геометричної форми із феромагнітних матеріалів застосовують робочу зону малих розмірів з підвищеними значеннями магнітної індукції в робочих зазорах – від 0,5 до 1 Тл. Для зазначених схем визначальним фактором ефективності МАО є величина магнітної індукції, яка визначає ступінь притискання частинок МАІ до оброблюваних поверхонь. При роботі із виробами складної просторової форми розумно проводити на верстатах з великою робочою зоною, в умовах коли визначальними факторами ефективного МАО є швидкість і траєкторія руху оброблюваних деталей – динамічний фактор, який забезпечує притискання частинок магнітно-абразивного матеріалу (МAM) до оброблюваних поверхонь. Різниця в схемах оброблення визначає вимоги до властивостей порошкових МAM. Якщо для схем з малими робочими зонами міцність зерен МАІ не є критичною, то для умов їх «динамічного» навантаження – при застосуванні на установках з великими робочими зонами при незначних магнітних індукціях в зоні оброблення (до 0,5 Тл)- є однією з визначальних. Вибір магнітно-абразивного порошку для певної схеми оброблення й оброблюваного матеріалу вважається складною проблемою, це насамперед зв'язано з відсутністю повної інформації про ефективність роботи існуючих порошків у різних умовах і великій кількості властивостей, які визначають їх експлуатаційні характеристики.

Для всіх типів порошків з різними розмірами фракцій частинок від 200/100 мкм до 400/315 мкм розрахункові значення статистичних

характеристик наведено табл. 2.2. Було визначено величину середнього радіусу округлення РК частинок, значення зміни його статистичних характеристик – таких як ексцесу, асиметрії, моди, стандартного відхилення та дисперсії.

Для МАО стоматологічних борфрез використовували порошкові матеріали отримані методами порошкової металургії. Однією із переваг таких порошків є можливість використання порівняно широкої гами абразивних матеріалів, простота технологічного процесу їх отримання, можливість варіювання абразивною складовою та її розміром [27, 32]. Для роботи з стоматологічними борфрезами застосовували порошки отримані методом диспергування розплавів. Зокрема для МАО борфрез використовували порошок Феромап зернистістю 200/100 мкм та для підвищення ефективності обробки та роботи з малогабаритним інструментом додаємо механічну суміш АСМ 3/2 – 14/10. Такий МАП доцільно використовувати для стоматологічного інструменту, бо використовуваний інструмент має середню кількість різальних кромок. Обраний порошок доцільно використовувати, тим самим забезпечити опрацювання робочих поверхонь, а саме різальних кромок та западин інструмента. За допомогою порошку з мілкою зернистістю, зможемо отримати потрібний результат. Так як МАП з крупною зернистістю заповнить всі западини та не буде відбуватися обробка.

В якості МОТС використовували АСФОЛ, який складається з синтетичних та рослинних олій [26].



Феромап 200/100 мкм

Рис. 2.9. Зовнішній вигляд частинок порошків, що використовувалися при МАО борфрез

Таблиця 2.2. - Мікрогеометричні та геометричні показники МАП

Тип порошку	Фракція, мкм	Середнє значення $r_{кз}$, мкм	k_f
Феромап	200/100	48,61	1,52

2.5. Умови дослідження параметра k , який характеризує зміни радіусів різальних кромки борфрез

Оброблення виконували при наступних умовах МАО:

- швидкість обертання борфрези навколо осі «кільцевої ванни» 300 об/хв, діаметр ванни 200 мм;
- час оброблення в режимі «стікання» при обертанні борфрези навколо власної осі за годинниковою стрілкою та проти годинникової стрілки від 1-ї до 8-ми хвилин;
- кут базування борфрез відносно вектора головного руху першої групи $p = 70^\circ$, другої групи $p = 40^\circ$;
- величина магнітної індукції в робочій зоні не заповненій магнітно-абразивним порошком складала $B = 0,225$ Тл.

Інші умовами МАО, які змінювалися в ході експериментальних досліджень: кутова швидкість обертання оброблюваного інструменту навколо власної осі – 850 об/хв та 600 об/хв, для формування МАІ використовували

МАП Феромап зернистістю 200/100 мкм з додаванням суміші алмазних паст - АСМ зернистістю 3/2 мкм та АСМ 14/10 мкм.

Вимірювання параметрів РК, виконані за методикою, наведеною у другому розділі.

Дослідження виконували на експериментально магнітно-абразивній установці типу «кільцева ванна». Схема реалізована на дослідно-промисловому вертикально фрезерному верстаті типу ОЦ – Іжевськ(рис. 2.5). Процес обробки виконували в режимі «стікання».

2.6. Методика вимірювання параметра k , який характеризує зміну радіусів округлення РК борфрез.

Параметр k , який дозволяє оцінити зміну радіусаокругленняпо ширині відблиску на робочій поверхні вимірювали за наступними етапами:

- встановлення стоматологічного інструмента першої групи №1 та № 6 під кутом $\rho = 70^\circ$ та борфрези другої групи №4 та № 5 під кутом $\rho = 40^\circ$;
- регулювання часу від 1-ї хвилини до 8-ми хвилин, на початок та завершення оброблення. Цим самим виявили скільки часу потрібно для отримання потрібного результату;
- безпосереднє фотографування необроблених та оброблених стоматологічних борфрез після кожної зміни часу та режиму оброблення за допомогою спроектованого пристосування (рис.2.3);
- визначення масштабних параметрів k , за допомогою якого встановимо розмірирадіуса заточення різальної кромки по відблиску на робочій поверхні.Вимірювання параметра k виконуємо по 3 контрольним точкам, за допомогою програмного забезпечення, а саме КОМПАС 3D.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МАО БОРФРЕЗ

Експериментальні дослідження виконували на твердосплавних стоматологічних борфрезах кулястої форми. Кожен інструмент піддавався багато стадній обробці з аналізом на кожній стадії різальних кромок та їх зовнішнього виду.

Зовнішній вигляд РК борфрез до МАО і після МАО представлено на рисунку 3.1. З кромки видаляється регулярний мікрорельєф, задирки, формується рівномірна та гладка поверхня, відбувається очищення канавок від залишків оброблюваних матеріалів, відбувається загострення різальних кромок.



а)



б)

Рис.3.1. Загальний вигляд РК борфрез: а) до МАО; б) після МАО

Не зважаючи на позитивний вплив МАО на робочих поверхнях різального інструменту, виправити деякі дефекти не можливо. Особливо такі, що пов'язані з викришуванням та сколюванням різальних кромок.

3.1 Вплив МАО на округлення різальних кромок твердосплавних стоматологічних борфрез

Вимірювання та розрахунок параметру k виконували в програмі КОМПАС 3D, в яку завантажували збільшені зображення різальних кромок на кожному з етапів оброблення. В якій вимірювали поблизу контрольних точок P_1, P_2, P_3 (рис 3.2) параметр k за схемою вимірювання його розміру (рис 3.3).



Рис. 3.2. Схема розташування контрольних точок по довжині РК бор фрез

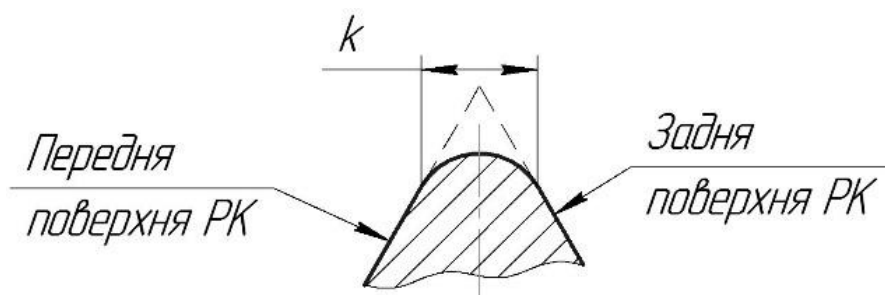
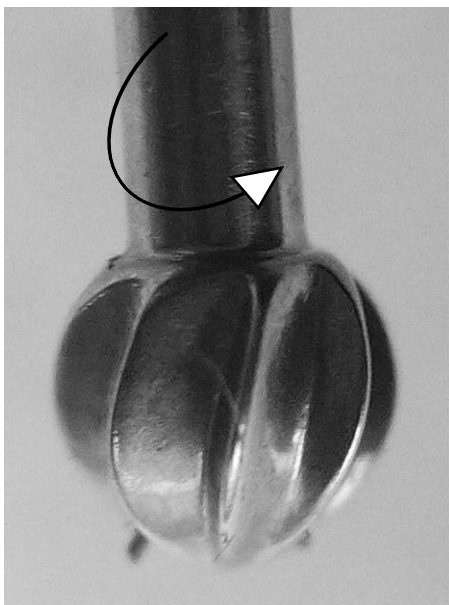


Рис.3.3. Схема вимірювання розміру k

Досліджено вплив часу МАО при обробці порошком Феромап зернистістю 200/100 мкм з додаванням алмазної пасті АСМ 3/2 та 14/10 на округлення різальних кромок стоматологічних твердосплавних борфрез. Досліджувані борфрези було розділено на групи. Першої групи №1 та №4 обробляли «з кромки», тобто проти годинникової стрілки (рис.3.4 а), другої групи №5 та №6 — навпаки «на кромку», за годинниковою стрілкою (рис. 3.4 б).

«з кромки»

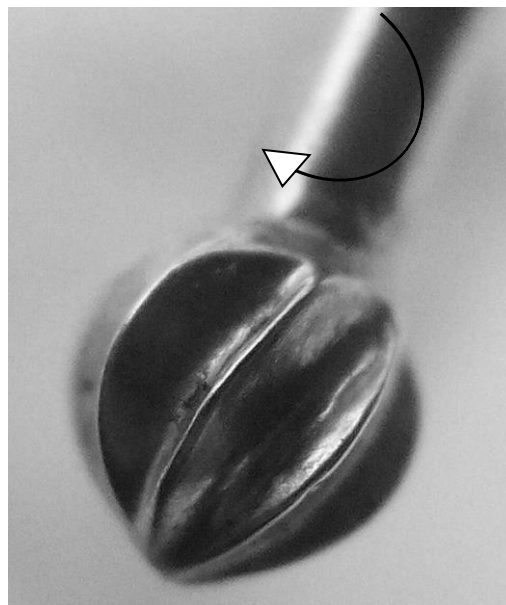
Проти годинникової стрілки



а)

«на кромку»

За годинниковою стрілкою



б)

Рис. 3.4. Зображення напрямку обробки бор фрез

Отримані результати після кожного етапу оброблення зведено в гістограми (рис.3.5, рис. 3.7, рис. 3.9, рис. 3.11). Після проведення аналізу побудованих гістограм можемо зробити висновки:

Борфрезипершої групи №1: враховуючи, що до МАО різальні кромки інструмента були притуплені, то після 1-ї хвилини МАО з кромки в режимі «стікання» борфрезипід кутом $\rho = 70^\circ$, відбувається зменшення параметра k , тобто загострення. Після першої хвилини збільшили час оброблення щона 1-ну хвилину ($=2\text{хв}$), параметр k майже не змінився. Після 4-ої хвилини параметра k дещо зменшився, що вказує на вихід на стаціонарний режим, при якому можливі невеликі зміни параметра k . Після 6-ої хвилини обробки розміри параметра k починають збільшуватися, але після 8-ої хвилини обробки інструмент залишається ще достатньо гострий. В результаті, встановлено, що для МАО стоматологічних борфрез достатньо 4-х хвилин при вказаних режимах, величина параметру k після 4-х хвилин МАО змінюється до величини, яка дорівнює $0,00253$ мм, при вихідному значенні дорівнювала $0,0123$

мм(табл. 3.1). На рисунку 3.6 показано зовнішній вигляд різальної кромки однієї з борфрез першої групи до МАО та після 4-х хвилин оброблення.

Величини в таблиці це:

k – параметр, який дозволяє оцінити зміну радіуса округлення різальних кромок борфрез;

Δ – різниця зміни параметру k радіусів округлення кромок, за допомогою якого визначаємо на яке значення збільшився чи зменшився розмір кромок борфрез.

Таблиця 3.1. - Середні значення параметра k та різниця значень радіусів при зміні часу МАО

хв	Борфрези першої групи №1, обробка з кромки під кутом $\rho = 70^\circ$	
	k , мм	Δ , мм
0	0,0123	0,00904
1	0,00326	
2	0,00287	0,00943
4	0,00253	0,00977
6	0,00347	0,00883
8	0,00363	0,00867

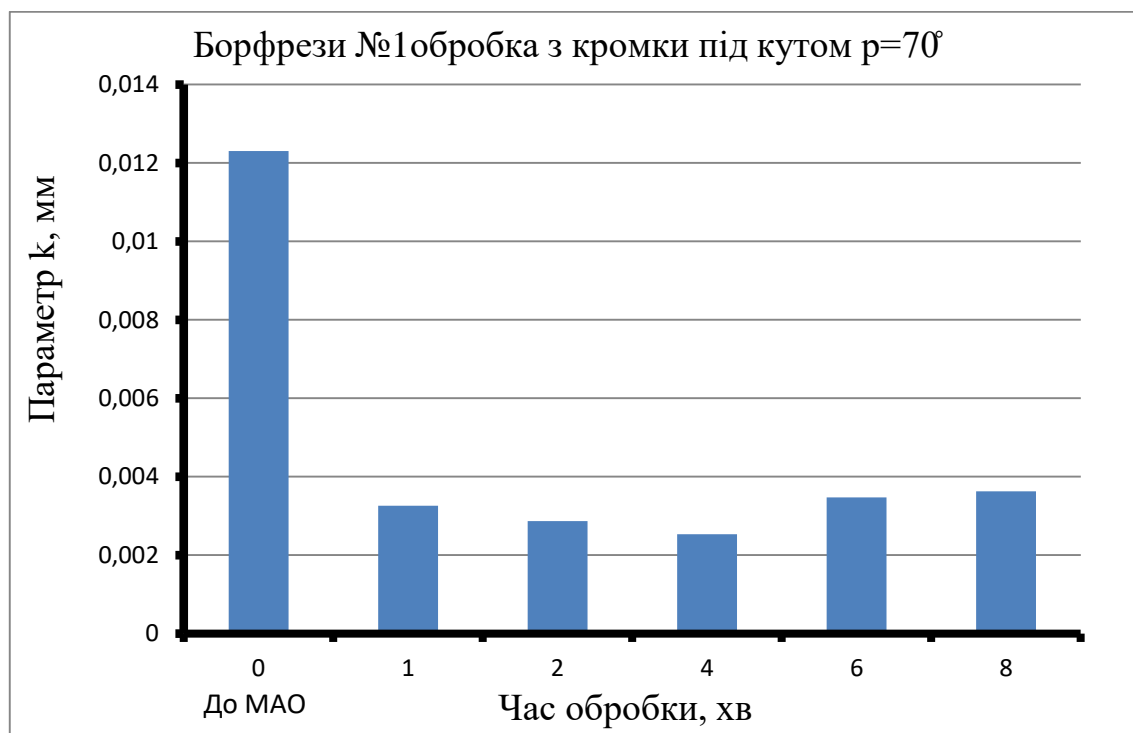
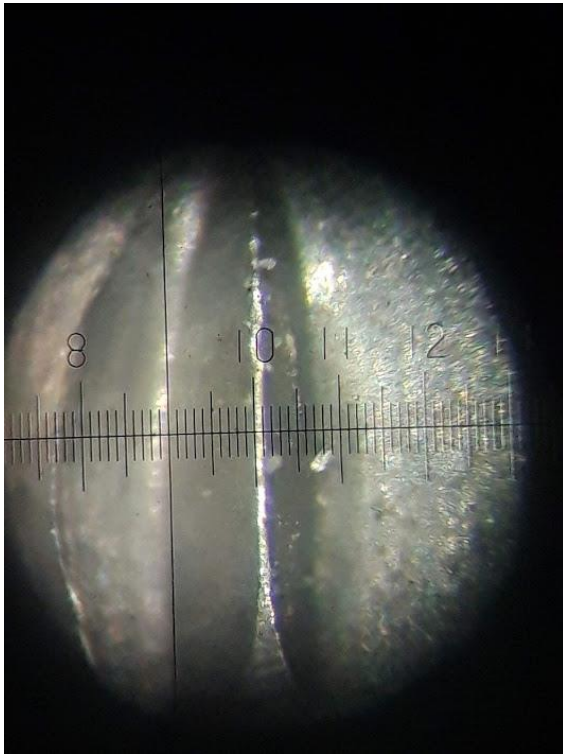


Рис. 3.5. Гістограма зміни величини параметра k в залежності від часу оброблення при куті базування $\rho = 70^\circ$ та при обробленні з кромки

До МАО



Після 4-х хвилин оброблення

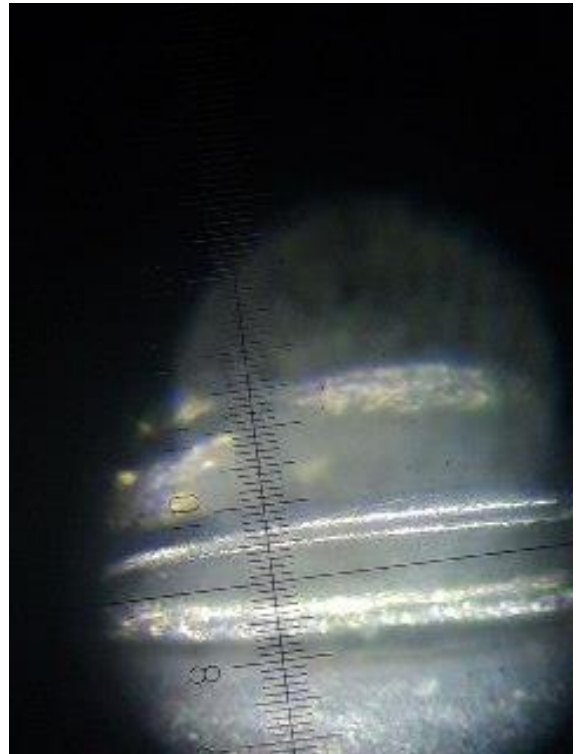


Рис. 3.6. Зовнішній вигляд робочої частини борфрез першої групи №1 до та після МАО

Борфрезі першої групи №6: зазначено, що до МАО різальні кромки були притуплені, то після 1-ї хвилини МАО на кромку в режимі «стікання» борфрез під кутом $\rho = 70^\circ$, відбувається зменшення величини параметра k , а саме початок загострення. Після першої хвилини збільшили обробку ще на 1-ну хвилину ($=2\text{хв}$), встановлено наступне зменшення величини параметру k . При збільшенні часу оброблення до 4 – х хв відбувається збільшення величини параметру k до величини, що дорівнює $0,00381\text{мм}$, в порівнянні з величиною, яка дорівнює $0,00208\text{мм}$ при 2-х хв оброблення. При наступному збільшенні часу оброблення з 4-х до 8-ми хвилин величина параметра k , характеризує величину радіусу округлення різальних кромки, поступово зменшується, досягаючи величини $0,00337\text{мм}$ (рис. 3.7). Експериментально встановлено, що за 2-ї хвилини МАО параметр k борфрези зменшився на $0,00549\text{ мм}$ від початкового параметру, в результаті відбулося загострення, цього часу достатньо для оброблення радіусів різальних кромки при зазначених умовах МАО.

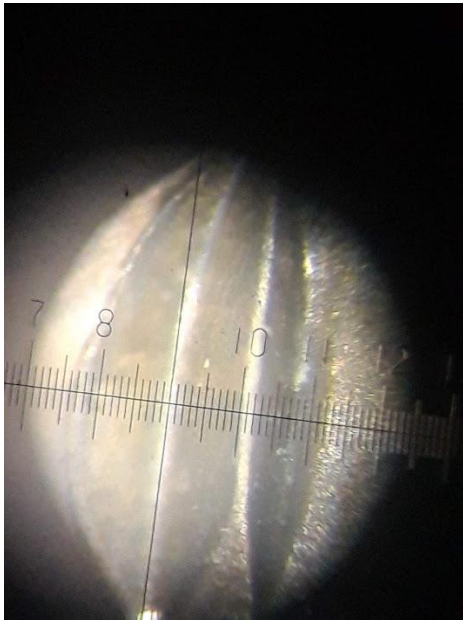
Таблиця 3.2. - Середні значення параметру k , за різниця значень радіусів при зміні часу МАО

хв	Борфрези першої групи №6, обробкана кромку під кутом $\rho=70^\circ$	
	k , мм	Δ , мм
0	0,0093	0,00598
1	0,00332	
2	0,00208	0,00722
4	0,00381	0,000549
6	0,00363	0,00567
8	0,00337	0,00593



Рис. 3.7. Гістограма зміни величини параметру k в залежності від часу оброблення при куті базування $\rho=70^\circ$ та при обробленні на кромку

До МАО



Після 2-х хвилин обробки

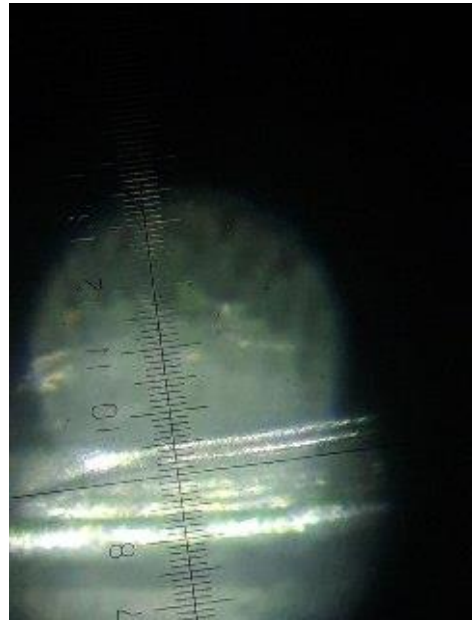


Рис. 3.8. Зовнішній вигляд робочої частини борфрез першої групи №6 до та після МА

Оброблення інструментів другої групи №4 відбувалося з кромки в режимі «стікання» з кромки, тобто проти годинникової стрілки (рис.3.8), інструменти №5 - здійснювалося оброблення в режимі «стікання» на кромку, за годинниковою стрілкою (рис. 3.4а,б), під кутом базування борфрез $\rho=40^\circ$.

При обробленні борфрез другої групи №4: встановлено, що якщо до МАО різальні кромки інструмента були притуплені, то після 2-ї хвилини МАО борфрези при обробленні під кутом $\rho = 40^\circ$ загострилися. При збільшенні часу оброблення з 2-х до 6-ти хвилин величина параметру практично не змінюється і знаходиться в діапазоні 0,0041 – 0,0047 мм. Але після 8-ї хвилини МАО встановлено, що параметр k борфрез значно збільшилися, тобто відбулося притуплення інструмента (рис. 3.9). Доведено, що на 4-ій хвилині параметр k зменшився до 0,007825 мм, відбулося загострення, цього часу достатньо для МАО, бо вже після 4-ї хвилини відбувається притуплення.

Таблиця 3.3. - Середні значення параметра k , та різниця значень радіусів при зміні часу МАО

хв	Борфрези другої групи №4, обробка з кромки під кутом $\rho = 40^\circ$	
	k , мм	Δ , мм
0	0,012	0,0076
2	0,00446	
4	0,004175	0,007825
6	0,004705	0,007895
8	0,014	0,00867

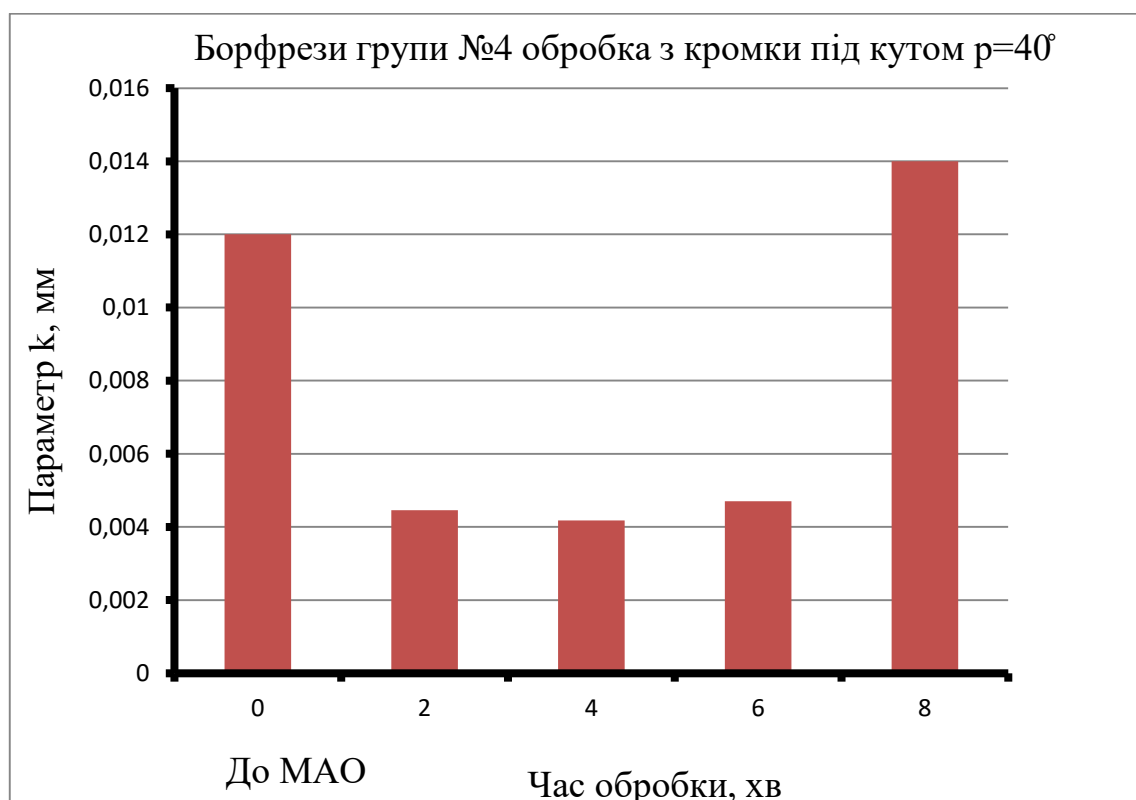
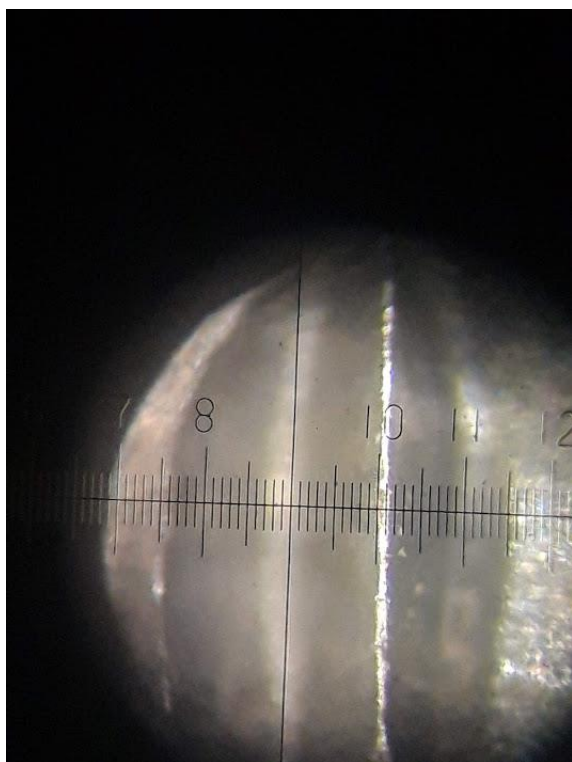


Рис. 3.9. Гістограма зміни величини параметру k в залежності від часу оброблення при куті базування $\rho = 40^\circ$ та при обробленні з кромки

До МАО



Після 4-х хвилин обробки

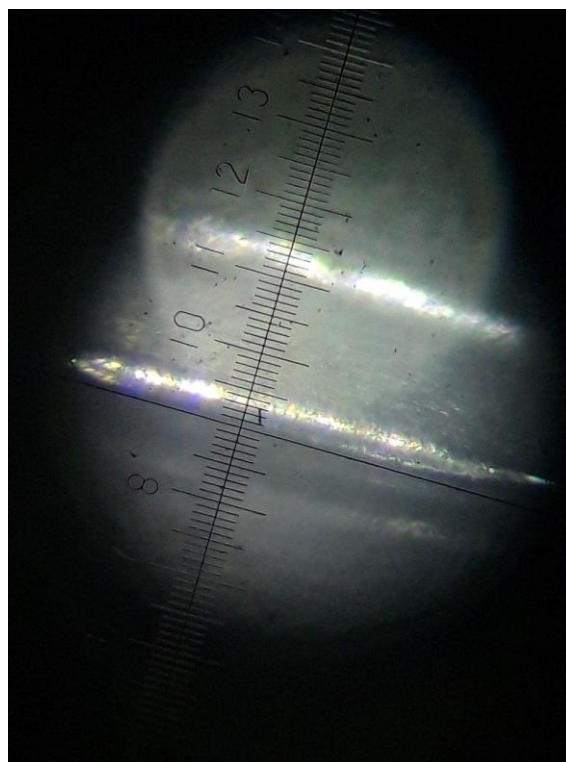


Рис. 3.10. Зовнішній вигляд робочої частини борфрез другої групи №4 до та після МАО

Борфрези другої групи №5: враховуючи, що до МАО різальні кромки були притуплені. Після 2-ї хвилини МАО на кромку в режимі «стікання» на кромку борфрез, які при обробленні розташовувались під кутом $\rho = 40^\circ$, відбулося різке зменшення параметра k , тобто відбулося загострення. Після продовження оброблення ще протягом 2-х хвилин ($=4\text{хв}$) відбулось збільшення величини k на 0,007825 мм від початкового значення 0,014 мм, тобто для якісного МАО під кутом $\rho=40^\circ$ достатньо 4-х хвилин, для загострення інструмента. При додаванні ще 2-х хвилин встановлено зменшення k та загострення різальних кромок. Обробивши борфрези при 8-ми хвилин визначено, що змін після 6-ї хвилини майже не відбулося, тобто отримали загострення борфрези (рис. 3.11). Доведено, що для загострення борфрези потрібно 2-ві хвилини МАО параметр k зменшився на 0,0076 мм від початкового радіуса.

Таблиця 3.4. - Середні значення радіусів різальних кромки, та різниця значень радіусів при зміні часу МАО

хв	Борфрези другої групи №5, обробка на кромку під кутом 40°	
	к, мм	Δ, мм
0	0,014	0,0076
2	0,00321	
4	0,003925	0,007825
6	0,00235	0,007895
8	0,002485	0,00867

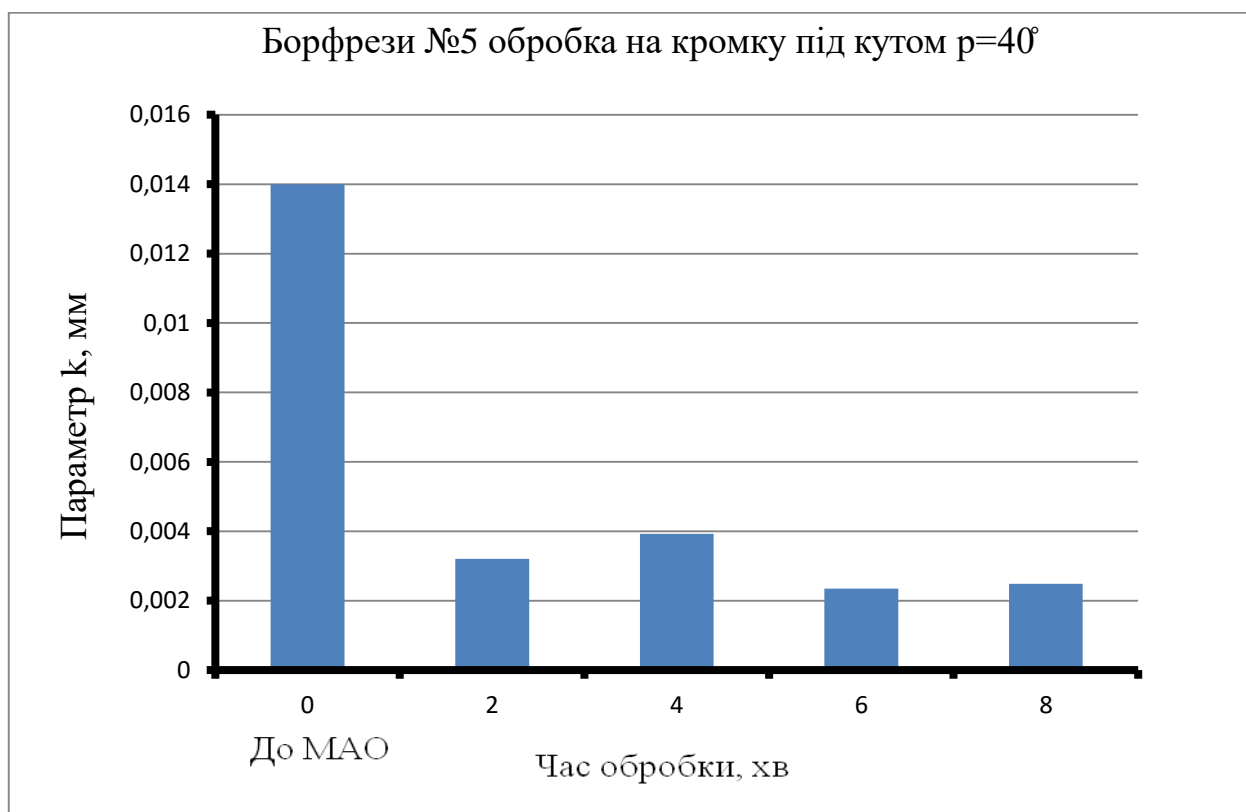
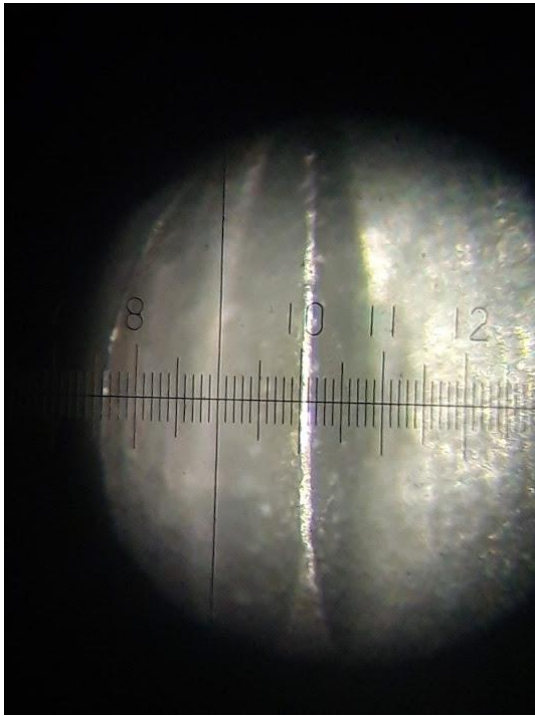


Рис. 3.11. Гістограма зміни величини параметру к в залежності від часу оброблення при куті базування $\rho=40^\circ$ та при обробленні на кромку

До МАО



Після 2-х хвилин обробки

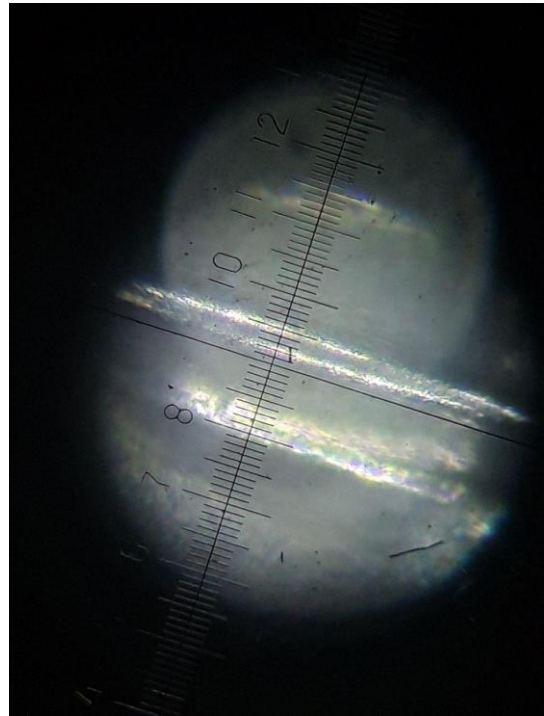


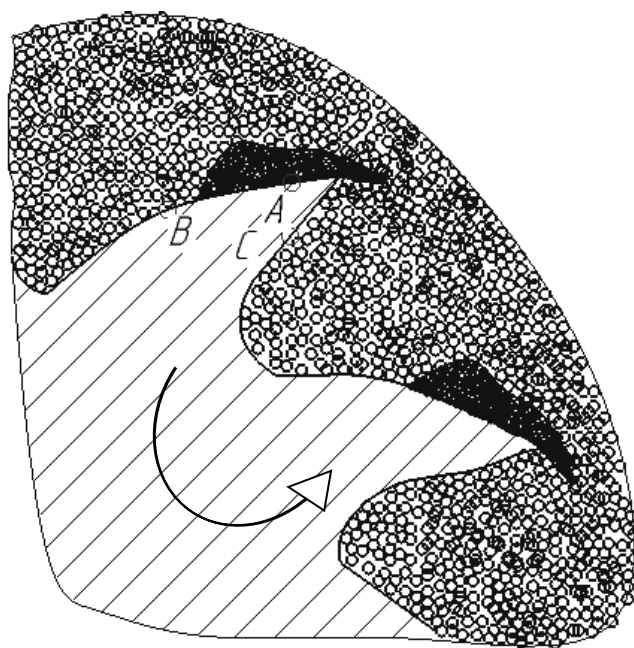
Рис. 3.12. Зовнішній вигляд робочої частини борфрез другої групи №5 до та після МАО

Стоматологічні борфрези, які оброблювали, були уже у використанні, тому параметр k коливається в широкому діапазоні, а на деяких борфрезах присутні мікросколи та вириви різальних кромки, в канавках знаходяться залишки оброблюваних матеріалів, що значно погіршують експлуатаційні властивості таких борфрез, не зважаючи на гарний стан самих різальних кромки.

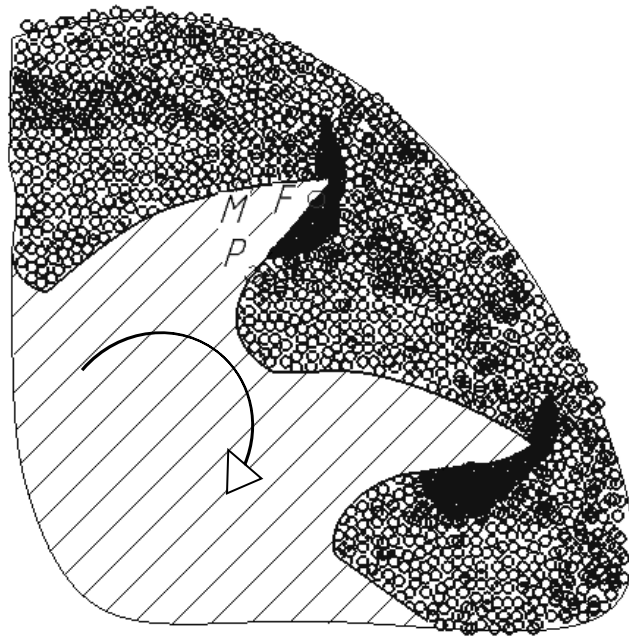
Проаналізувавши експериментальні дослідження та значення зміни параметру k робимо деякі висновки щодо МАО «на кромку», за годинниковою стрілкою або «з кромки», тобто проти годинникової стрілки. На рисунку 3.13, показано як МАІ взаємодіє з оброблюваними поверхнями інструменту. Фактично, коли оброблення відбувається «на кромку», мається на увазі за годинниковою стрілкою (рис. 3.13а), заточення відбувається по задній поверхні. В зоні А порошок дуже ущільнений, який проходить по задній поверхні. В зоні В стаціонарна зона ущільнення. Зона С – "мертва" зона, в якій між різальними кромками порошок практично не рухається.

При обробленні "з кромки", проти годинникової стрілки (рис.3.13б), в зоні Γ утворюється максимальне ущільнення та оброблення по передній поверхні. В зоні M – стаціонарна зона ущільнення, в якій порошок рухається без змін. Зона P – це "мертва" зона, в якій порошок не рухається. Після проведення експериментальних досліджень встановлено, що при обробленні проти годинникової стрілки під кутом $\rho=70^\circ$ відбуваються великі зміни радіусів різальних кромки. За допомогою веретеноподібних ущільнень, які рухаються по обидві сторони борфрези, тоді коли верхні ущільнення зменшуються, а нижні збільшують і відбувається обробка по задній поверхні та загострення стоматологічного інструмента. Оброблення «з кромки» відбувається тільки по передній поверхні, тільки змінюються в протилежному напрямку положення ущільнень.

Встановивши борфрези під кутом $\rho=40^\circ$ та провівши обробку «з кромки» встановлено, що MAO відбувалося по задній поверхні в наслідок отримуюмо притуплений інструмент. Аналізуючи результати обробка «на кромку» під тим же кутом, виявилось, що оброблення відбувалось по передній поверхні із зменшенням розмірів різальних кромки, тобто спостерігаємо загострення стоматологічних борфрез.



a)



б)

Рис. 3.13.Зображення різальних кромок інструмента з розташуванням МАІ:
а) оброблення по задній поверхні; б) оброблення по передній поверхні.

3.2. Висновки експериментальних досліджень

– Значення параметру k до МАО притуплених борфрез групи №1=0,0123 мм, після 4-х хвилин МАО в режимі «стікання» під кутом $\rho=70^\circ$ він знизився до $k=0,00253$ мм, тобто параметр k зменшився на $\Delta=0,00977$ мм, відбулося загострення інструмента. З додаванням часу оброблення відбувається притуплення різальних кромок інструменту;

– Радіуси різальних кромок борфрез групи №6, що характеризуються величиною k , до оброблення становили 0,0093 мм, після 2-х хвилин МАО в режимі «натікання» під кутом $\rho=70^\circ$ встановлено, що параметр знизився до $k=0,00208$ мм, параметр k зменшився на $\Delta=0,00722$ мм, відбулося загострення інструмента. З додаванням часу МАО різальні кромки почали притуплюватися;

– До оброблення розміри різальних кромок інструментів групи №4, що характеризуються параметром k , були рівні $k=0,012$ мм, після 4-х хвилин МАО в режимі «стікання» під кутом $\rho=40^\circ$, встановлено, що параметр

знизився до 0,00417 мм, тобто параметр k зменшився на $\Delta=0,00782$ мм, відбулося загострення борфрез. З додаванням часу оброблення різальні кромки почали притуплюватися;

– Значення параметру k до МАО інструментів групи №5 становило $k=0,014$ мм. Після проведення МАО в режимі «натікання» під кутом $\rho=40^\circ$, встановлено, що на 2-ій хвилині почалося загострення кромки, а параметр k знизився до 0,00321 мм, тобто параметр k зменшився на $\Delta=0,0076$ мм, відбулося загострення борфрези. З додаванням часу МАО різальні кромки почали притуплюватися.

Після проведення експериментальних досліджень доведено, що використовуючи метод МАО можливо відновити працездатність шляхом очищення, роз полірування та загострення різальних кромки борфрез. Які в подальшому можна використовувати в роботі в лікувальній стоматології.

4. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї-проекту

Зміст ідеї. За останні роки темпи розвитку сучасного виробництва та новітніх технологій потребують в прискоренні технологічного підготовлення виробництва, тому що від цього в значній мірі залежить терміни випуску нового продукту на ринок. Значна більшість високотехнологічних виробництв, таких як машинобудування, будівництво, автомобілебудування, гірничодобувна промисловість, медицина, ювелірна справа та ін., в значній мірі виконують певні види обробки за допомогою борфрез. Даний інструмент виготовлять традиційними методами (фрезерування, полірування, шліфування). На сьогоднішній день метод магнітно-абразивного оброблення набирає обертів у використанні. За допомогою MAO можна отримати високу якість і чистоту оброблюваної поверхні. Такий спосіб доцільно використовувати при обробці таких поверхонь: циліндричних зовнішніх та внутрішніх, плоских, тіл обертання з криволінійною твірною, гвинтових (ролики голчастих підшипників, деталі радіоелектронної апаратури, приладів, годинникових механізмів, відновлення та заточення стоматологічних борфрез) та ін.

4.2 Основні вигоди, що може отримати користувач товару

В роботі наведені деякі особливості використання цього оброблення, які достатньо дорогі при застосуванні. Тому вдосконалення методу магнітно-абразивного оброблення спрямовані на підвищенні продуктивності технологічного підготовлення виробництва, надійності прийняття технологічних рішень та продуктивності реалізації оброблення є актуальним та необхідним на ринку інструментом, а зміст ідеї представлено у таблиці 4.1.

Таблиця. 4.1 - Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Суть ідеї полягає в тому, що за допомогою МАО забезпечити максимальне відновлення різальних властивостей робочих кромek, заточення, відновити працездатність та продуктивності реалізації оброблення твердосплавних стоматологічних борфрез	Для препарування	Економія на покупці нового інструменту
	Некректомія	Підвищення терміну експлуатації інструменту
	Видалення (висвердлювання) «старої» пломби	Забезпечення кращої та якісної роботи стоматолога

4.3 Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї.

Всі компанії, які виготовляють стоматологічний інструмент, надають інформацію лише по окремих способам виготовлення та обробки борфрез, які враховують або матеріал деталі, або тип обладнання, або вимоги до якості поверхонь, але не відновлюють його працездатність та мікрогеометрію різальних кромek. Основними конкурентами по виготовленню на сьогоднішній день попередньо є фірми: Yimikata (Китай), ФРЕЗА (Росія), Bohrcrafttoolsgmbh&co KG (Германія).

У табл.4.2. наведено визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту, де W -слабка сторона, N - нейтральна сторона, S - сильна сторона

Таблиця 4.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні концепції конкурентів			
		Мій проект	Yimikata	ФРЕЗА	Bohrcraft tools gmbh& co
1.	Технологічне підготовлення виробництва.	S	N	N	N
2.	Розроблення стратегій оброблення.	S	S	W	N
3.	Встановлення параметрів обробки	S	S	N	N
4.	Формування необхідної якості інструменту.	S	N	W	W

5.	Вибір технологічного обладнання.	<i>S</i>	<i>W</i>	<i>W</i>	<i>W</i>
----	----------------------------------	----------	----------	----------	----------

Визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик та властивостей ідеї товару є основою для формування його конкурентоспроможності.

4.4 Технологічний аудит ідеї проекту.

Виконуємо аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Таблиця 4.3 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Здійснити максимальне відновлення різальних властивостей робочих кромek, заточення, відновити працездатність та продуктивності реалізації оброблення твердосплавних стоматологічних бор фрез за допомогою MAO	Технологія 1: В спеціальне пристосування встановлюється бор фреза , закріплюється у шпиндель магнітно - абразивного обладнання та виконується обробка.	Технологія наявна	Повністю доступна.
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Технологія 1				

В результаті аналізу технологічної здійсненності ідеї проекту встановлено технологію вимірювання, яка дозволяє вирішити поставлені задачі.

4.5 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначаємо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту. Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Виконуємо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 4.4).

Таблиця 4.4-Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	1..2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	1500000 / 55000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Особливі соціально – економічні умови.
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Не виявлено
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Рентабельність може досягати 25-40% та більше.

Таким чином, можна зробити висновок, що на ринку не так багато наявних гравців, що пропонують продукцію з високою додатковою вартістю. Попри занепад більшості державних підприємств, лікарень, на підприємствах приватних відбувається перехід до більш сучасного обладнання. Наприклад, майже в усіх приватних лікарнях є сучасне обладнання, яке користується великим попитом і потрібне обладнання, яке буде якісно та швидко оброблювати використаний інструмент.

Визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5. -Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Устаткування не великих габаритів	Стоматологічні, ювелірні підприємства, які знаходяться в невеликих містах	Акцент на зменшенні витрат за рахунок малих габаритів. Мала собівартості операції.	- до продукції: устаткування повинно мати належну міцність - до компанії-постачальника: можливість швидкої доставки

2	Малі затрати у часі	Стоматологічні, ювелірні, манікюрні підприємства, автомобілебудування, машинобудування.	Акцент на високій швидкості оброблення інструменту.	- до продукції: висока точність та якість - до компанії-постачальника: можливість забезпечити устаткуванням належної точності
3	Переточка старого інструменту	Стоматологічні, ювелірні підприємства, які знаходяться в невеликих містах.	Підприємства, що знаходяться в невеликих містах зацікавлені в переточці старого інструменту, щоб не платити великі гроші за новий.	- до продукції: якість, точність, правильність формирізальної кромки - до компанії-постачальника: можливість забезпечити інструментом конкретний об'єм виробництва

4.6 Аналіз ринкового середовища

Проводимо аналіз ринкового середовища: складаємо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 4.6. та 4.7).

Таблиця 4.6. -Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Загальний спад попиту на оброблену продукцію	Новий, тільки виготовлений інструмент буде коштувати дешевше або так само як і переточений.	Розробка нового устаткування для обробки або нової технології виготовлення інструменту.
2	Залежність від постачальників деталей для устаткування	Невелика кількість постачальників деталей регулюють ринок, володіють значною переговорною силою.	Довгострокова співпраця з постачальниками, створення взаємовигідних умов співпраці.
3	Нове устаткування	Поява нової установки, яка буде коштувати дешевше.	Перегляд технології виготовлення та вдосконалення обладнання

Таблиця 4.7. -Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Вдосконалення спеціальної установки	Можливість оброблення більшої кількості інструментів, технології їх виготовлення, підвищення показників ефективності	Постійний розвиток технологій
2	Вихід на нові ринки	Збільшення об'єму продажів, співпраця з новими підприємствами та країнами.	Пошук нових ринків збуту та партнерів
3	Впровадження франшиз, філіалів та відділів в різних регіонах	Створення власних центрів сервісу, обслуговування та виготовлення продукції, розвиток об'ємів виробництва	Своєчасне проведення аудиторських та маркетингових досліджень

Виконуємо аналіз пропозиції: визначаємо загальні риси конкуренції на ринку (табл. 4.8).

Таблиця 4.8. - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції олігополія	На ринку представлені переважно великі міжнародні компанії, їх кількість невелика. Практично відсутні малі підприємства.	Боротьба за галузі на які завжди буде попит там де великі компанії мають дуже високу ціну.
2. За рівнем конкурентної боротьби міжнародний	Компанії виробники представлені в різних країнах світу.	Розвиток логістичних і транспортних систем.
3. За галузевою ознакою внутрішньогалузева	Переважно виробники спеціалізуються на виготовленні установок. В меншій мірі присутня міжгалузева конкуренція.	Концентрація над конкретними ідеями.
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Найбільшого значення має призначення товару.	Представлення на ринку різних видів установки.
5. За характером конкурентних переваг - цінова/не цінова	Конкуренція як за рахунок перспективних технологій так і за рахунок зниження цін.	Забезпечити компромісне рішення
6. За інтенсивністю - марочна	На ринку висока роль бренду.	Приділити увагу маркетинговій компанії для реалізації на ринку.

Перелік факторів конкурентоспроможності наведено в табл. 4.9.

Таблиця 4.9. - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Оригінальна ідея створення технології вимірювання силових параметрів	Розглянута технологія дає можливість в подальшому створити установку для МАО стоматологічного інструменту (борфрез)
2	Режими різання при обробці	Даний метод дозволяє обробити інструмент за 3-5 хв, чого не можливо сказати про інші.
3	Відсутність конкурентів всередині країни	Мінімальна залежність цін на внутрішньому ринку від курсу валют, затрат на транспортування тощо.
4	Використання ефективного методу обробки інструментів	МАО комплексно покращує якісні характеристики інструменту, тоді як інші методи покращують тільки один або декілька показників

Висновок. З огляду на конкурентну ситуацію вихід ідеї на ринок можливий, проте слід розраховувати на ті галузі, де конкуренти мають найменший вплив.

4.7 SWOT-аналіз

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 4.10) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 4.9).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

Таблиця 4.10 - SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: - позитивне ціноутворення на внутрішньому ринку; - прогресивна конструкція установки - ефективний технологічний процес; - малий час обробки; - мала вартість роботи устаткування та переточеного інструменту.	Слабкі сторони: - відсутність власної сировинної бази; - висока частка імпорту для забезпечення виробництва; - складність виходу на нові ринки;
Можливості: - Вдосконалення власної науково-технічної бази; - Вихід на нові ринки;	Загрози: - Загальний спад попиту на оброблену продукцію; - можливість створення нового обладнання;

На основі SWOT-аналізу розробимо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуємо з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.11).

Таблиця.4.11 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Забезпечення надійних і незалежних постачальників продукції	Невелика кількість виробників, що спеціалізуються на випуску деталей, не складають конкуренції на ринку інструменту (Китай). Логістичні системи та об'єми продукції розвинуті на високому рівні.	2..3 місяці.
2	Освоєння власного заготівельного виробництва.	Велика кількість виробників деталей, на внутрішньому ринку також.	Для досягнення конкурентної точності необхідно 2..3 роки
3	Вихід на нові ринки збуту (міжнародні)	Можливо за умов розвитку об'ємів виробництва та маркетингу.	2..5 років

Висновок. В результаті аналізу можна зробити висновок, що освоєння власного заготівельного виробництва є перспективним і дало б змогу бути незалежними в питанні заготовок. Проте це потребує значних наукоємних затрат та часу для реалізації, що на початкових етапах є недоцільним. Тому обрано альтернативний шлях – розвиток відносин з виробниками потрібних нам деталей для установки, що не є конкурентами на ринку верстатобудування.

4.8 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл.4.12).

Визначаємо стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл.4.12).

Таблиця 4.12 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів прийняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Машинобудування, будівництво, автомобілебудування, гірничодобувна промисловість, медицина, ювелірна справа.	Більша частина готова прийняти інструмент	Прихований попит (потенційний). Багато споживачів можуть мати велику потребу, яке не може бути задоволене наявними на ринку інструментами.	Інтенсивна конкуренція.	Має великий потенціал, збільшення конкурентних переваг.
Які цільові групи обрано: Підприємства машинобудівної та медичинської галузей, що часто запускають у виробництво нові високотехнологічні деталі з підвищеними вимогами до якості та надійності.					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів) обираємо цільову групу, до якої входять підприємства машинобудівної та

для медических галузей, та стратегію охоплення ринку - стратегію диференційованого маркетингу.

4.9 Стратегія конкурентної поведінки

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Проект пропонує один із способів вирішення відомих проблем, дуже близький до вже відомих.	Пошук і розвиток клієнтської бази є одним з основних аспектів розвитку компанії.	Спільні характеристики товару продиктовані чинними стандартами та нормами підприємств.	заняття конкурентної ніші

Висновок. Стратегія заняття конкурентної ніші є найбільш актуальною, тому що за наведених технологій та конструкції інструменту знижується його собівартість. Це відкриває нові можливості для клієнтів, які раніше не користувались даним різновидом інструменту (дає змогу застосовувати нові матеріали, оптимізувати технологічні процеси, знизити витрати тощо). Такі ніші є не освоєними конкурентами і цей факт дозволяє зарекомендувати себе на ринку.

4.10 Розроблення маркетингової стратегії проекту

Формування маркетингової концепції товару наведено в табл. 4.14.

Таблиця 4.14 -Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Значи реальні значення сил	Простий та якісний пристрій малих розмірів	Відсутність додаткової вартості товару; Низькі логістичні витрати
2	Режими різання	3 – 5 хв та можна далі використовувати інструмент	Якісний інструмент без сколів та мікронерівностей
3	Не платити за новий інструмент	Переточений інструмент не поступається на якісними характеристиками новому	Швидкість обробки Установку може освоїти не висококваліфікований робітник

4.11 Визначення цінових меж товару

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів).

Для порівняння за одиницю ціни прийнято вартість устаткувань компаній конкурентів – 40000 грн., а за переточку – 150 грн.

Таблиця 4.15. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	0.05..0.8	0.9..1.5		0,65..0,95

Висновок. Межі ціни встановлено таким чином, щоб запропонований товар міг охоплювати як конкурентні галузі, так і нові, де використовують товари-замінники.

4.12 Визначення оптимальної системи збуту

Визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 4.16)

Таблиця 4.16. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Надають вибір постачальникам з широким асортиментом продукції та логістичною доступністю	Забезпечення в необхідних об'ємах різних підприємств-клієнтів.	В межах регіону, країни	Власна система збуту

4.13 Висновки:

1. Рентабельність проекту яка сягає 25-40% також присутність попиту на ринку який є постійно зростаючим
2. Проект є перспективним оскільки потенційні користувачі це весь спектр виробництва де присутнє фінішне оброблення, можливість широкого впровадження в будь-яку галузь машинобудування.
3. Проект є конкурентоспроможним, проте можуть виникнути проблеми на початкових етапах розвитку через те, що метод та послуга мало відома, що насторожить клієнтів.

4. Для впровадження проекту для виходу на ринок доцільно залучення інвесторів, щоб надати більших оборотів проекту. Строк реалізації 2..3 місяці.
5. Розвиток проекту є доцільним оскільки ринок збуду постійно зростає за рахунок відкриття нових підприємств по обробленні металу.

Загальні висновки

1. Після аналізування науково технічної літератури встановлено, та порівнюючи методи фінішного оброблення визначили, що найперспективнішим із методів фінішного оброблення різального інструменту є магнітно-абразивне оброблення. Обраний метод забезпечує:

- комплексний вплив на стан поверхневого шару;
- формування в приповерхневому шарі залишкових стискаючих напружень
- видалення задирок, полірування робочих поверхонь та РК,
- зміцнення поверхневого шару
- підвищення корозійної стійкості

Рациональність використання МАО для осьового та кінцевого різального інструменту в умовах великих магнітних щілин пояснюється необхідністю отримання рівномірного оброблення цих робочих поверхонь.

2. Представлено данні про матеріали досліджень, конструкції борфрез, магнітно-абразивні матеріали які використовували при МАО, розглянуто конструкції та пристосування для оцінки округлення РК, методику вимірювання параметра k , яка дає можливість дослідити зміну радіусів округлення РК стоматологічних борфрез, описано установку для МАО з кільцевою робочою зоною за допомогою якої виконували оброблення. Експериментальні дослідження проводили на кулястих за формою твердосплавних борфрезах колишніх у використанні діаметром 2 мм (рис. 2.1), які було поділено на дві групи в залежності від стану їх РК.

3. Результати експериментальних досліджень встановили, що:

- Значення параметру k до МАО притуплених борфрез першої групи №1=0,0123 мм, після 4-х хвилин МАО з кромкив режимі «стікання» під кутом $\rho=70^\circ$ він знизився до $k=0,00253$ мм, тобто параметр k зменшився на $\Delta=0,00977$ мм, відбулося загострення інструмента. З додаванням часу оброблення відбувається притуплення різальних кромок інструменту;

– Радіуси різальних кромок борфрез першої групи №6, що характеризуються величиною k , до оброблення становили 0,0093 мм, після 2-х хвилин МАО на кромку в режимі «стікання» під кутом $\rho=70^\circ$ встановлено, що параметр знизився до $k=0,00208$ мм, параметр k зменшився на $\Delta=0,00722$ мм, відбулося загострення інструмента. З додаванням часу МАО різальні кромки почали притуплюватися;

– До оброблення розміри різальних кромок інструментів другої групи №4, що характеризуються параметром k , були рівні $k=0,012$ мм, після 4-х хвилин МАО з кромки в режимі «стікання» під кутом $\rho=40^\circ$, встановлено, що параметр k знизився до 0,00417 мм, тобто параметр k зменшився на $\Delta=0,00782$ мм, відбулося загострення борфрез. З додаванням часу оброблення різальні кромки почали притуплюватися;

– Значення параметру k до МАО інструментів другої групи №5 становило $k=0,014$ мм. Після проведення МАО на кромку в режимі «стікання» під кутом $\rho=40^\circ$, встановлено, що на 2-ій хвилині почалося загострення кромки, а параметр k знизився до 0,00321 мм, тобто параметр k зменшився на $\Delta=0,0076$ мм, відбулося загострення борфрези. З додаванням часу МАО різальні кромки почали притуплюватися.

Після проведення експериментальних досліджень доведено, що використовуючи метод МАО можливо відновити працездатність шляхом очищення, розполірування та загострення різальних кромок борфрез. Які в подальшому можна використовувати в роботі в лікувальній стоматології.

Список літератури:

1. Солоненко В.Г. Повышение работоспособности режущих инструментов поверхностным пластическим деформированием / В.Г. Солоненко, И.В. Двадненко // СТИН. – 2001. – №4. – С. 17 – 21.
2. Астафьева, Ф. М. Носков, Г. Ю. Зубрилов Технология конструкционных материалов. Версия 1.0 / Е. А.. – Красноярск : ИПК СФУ, 2008
3. Denkena B. Customized cutting edge preparation by means of grinding / B. Denkena, J. Köhler, C.E.H. Ventura // Precision Engineering. – 2013. – Vol. 37 (3). – pp. 590 – 598.
4. Лошак М.Г. Упрочнение твердых сплавов / М.Г. Лошак, Л.И. Александрова. – К.: Наук. думка, 1977. – 148 с.
5. Акулович, Л. М. Технология и оборудование магнитно-абразивной обработки металлических поверхностей различного профиля / Л. М. Акулович, Л. Е. Сергеев. - Минск: БГАТУ, 2013. - 372 с.
6. Проволоцкий А.Е. Струйно-абразивная обработка деталей машин / А.Е. Проволоцкий. – К.: Техника, 1989. – 177 с.
7. Беляев А.А. Влияние струйно-абразивной и магнитно-абразивной обработок на состояние рабочих поверхностей и режущих кромок сверл из быстрорежущей стали / А.А. Беляев, Б. Карпушевский, Л.Г. Дюбнер, В.С. Майборода // Вестн. двигателестроения. – 2007. – № 2. – С. 90 – 94.
8. Denkena B. Methode zur Präparation von Zerspanwerkzeugen: Leistungsoptimierung an der Schneidkante. / B. Denkena, N. Kramer, F. Siegel, J. Kästner // VDI-Z SpezialWerkzeuge, August, 2007. – pp. 24 – 26.
9. Denkena B. Preparation of Designed Cutting Edge Microgeometries by Simultaneous 5-Axes Brushing / B. Denkena, L. Leon, E. Bassett // Proceedings of the 3rd Int. Conf. on Manuf. Eng. (ICMEN) and EUREKA Brokerage Event, Kallithea of Chalkidiki, Greece, 1–3 October, 2008. – pp. 117–123.

10. Denkena, B. Cutting Edge Preparation by Means of Abrasive Brushing / B. Denkena, L. de Leon, E. Bassett, M. Rehe // Key Engineering Materials. The Coatings in Manufacturing Engineering, Erlangen, Germany, April 14–15, 2010. – Vol. 438. – pp. 1 – 7.
10. Джулій Д.Ю. Підвищення якості багатограних непереточуваних твердосплавних пластин при магнітно-абразивному обробленні в кільцевій ванні : дис. канд. техн. наук: 05.03.01 / Джулій Дмитро Юрійович. – К., 2014.– 175 с.
11. Зверовщиков В.З. Точностные характеристики центробежно-абразивной обработки деталей незакрепленным шлифовальным материалом // Новые промышленные технологии. – 1997. – Вып.3. – С. 22 – 29.
12. Byelyayev O. Erhöhung der Leistungsfähigkeit von HSS-Spiralbohrern durch Einsatz der magnetabrasiven Bearbeitung: Phd-Thesis, Otto von Guericke. – Magdeburg, 2008. – P. 150
13. Risse K. Einflüsse von Werkzeugdurchmesser und Schneidkantenverrundung beim Bohren mit Wendelbohrern in Stahl / K. Risse // Shaker – Verlag, 2006. – P. 151.
14. Klocke F. Coated Tools for Metal Cutting – Features and Applications / F. Klocke, T. Krig // CIRP Annals – Manufacturing Technology. – 1999. – Vol. 48(2). – pp. 515 – 525.
15. Харламов Ю.А. Инженерия поверхности и развитие современного машиностроения / Харламов Ю.А. // Тяжелое машиностроение. – 2001. – № 2. – С.
16. Ковришкін М.О. Методи формування зносостійких покриттів на різальному інструменті / М.О. Ковришкін, О.В. Шевченко, С.О. Довжук // Зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2010. – Вип. 23. – С. 62 – 69.

17. Верещака А.С. Работоспособность режущего инструмента с износостойкими покрытиями / Верещака А.С. – М.: Машиностроение, 1993. – 336 с.
18. Барон Ю.М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Барон Ю.М. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
19. Майборода В.С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь: дис. докт. техн. наук: 05.03.01 / Майборода Віктор Станіславович. – К., 2001. – 404 с.
20. Матюха П. Г. Современные тенденции развития магнитно-абразивной обработки / П.Г. Матюха, А.В. Бурдин // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк. – 2009. – Вип. 6 – С. 166 – 173.
21. Ульяненко Н.В. Підвищення працездатності твердосплавного інструменту шляхом застосування магнітно-абразивного оброблення та нанесення зносостійких покриттів: дис. ... канд. техн. Наук : 05.03.01 / Ульяненко Наталія Валентинівна. – Київ, 2006. – 160 с.
22. Майборода В.С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь: дис. ...докт. техн. наук: 05.03.01/Майборода Віктор Станіславович. – Київ, 2001. – 404 с.
23. . Майборода В.С. Магнитно-абразивная обработка специальных деталей. Диссертация .канд.техн.наук./ Майборода В.С – Киев, - 1988. – 170 с
24. Оликер В.Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки и износостойких по-крытий. –М.: Металлургия, 1990. – 176 с
25. Ткачук І.В., Майборода В.С. Геометричні характеристики магнітно-абразивних порошків
26. Мороз Б. Т., Мороз А.Б. Ротационные стоматологические инструменты: Руководство для эра чей и зубных техников.- СПб.: Человек, 2008.- 72 с.: ил

27. Полонейчик М.Н. [и др.] Методы препарирования твердых тканей зубов: учеб. метод. пособие.. – Минск: БГМУ, 2010. – 43с.
28. Шиллинбург Г., Якоби Р., Бракетт С. Основы препарирования зубов. Пер. с англ. — Москва, Санкт-Петербург, Киев, Алматы, Вильнюс: Азбука, 2006. — 371 с.